

VŠB – Technická universita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Bakalářská práce

-

Materiál pro výuku části modulu M7 dle
Part 66 – Nedestruktivní zkoušky u velkých letadel

Teaching material for Part 66 Module M7 – Non destructive
tests for big aircrafts

Student:

Pavel Zygmunt

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Rostislav Horecký

Ostrava 2009

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby.

V Ostravě

.....

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zygmunt, P. Materiál pro výuku části modulu M7 dle Part 66 – Nedestruktivní zkoušky u velkých letadel. Ostrava: Institut dopravy, Fakulta stojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, 61 s. Bakalářská práce, vedoucí Horecký, R.

Bakalářská práce pojednává o problematice nedestruktivních zkoušek, které se využívají u velkých letadel. V práci jsou popsány jednotlivé zkušební metody, vybavení pro zkoušky, využití v praxi.

Cílem bakalářské práce je vytvořit výukový materiál pro předmět Postupy údržby 3, pojednávající o nedestruktivních zkouškách. Tento materiál bude sloužit pro výuku techniků údržby letadel dle Part 66. Pro tento účel jsou v příloze bakalářské práce vypracovány testové otázky pro ověření znalostí, které studenti nabyli.

ANNOTATION OF THESIS

Zygmunt, P. Teaching material for Part 66 Module M7 – Non destructive tests for big aircrafts. Ostrava: The Institute of Transportation, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2009, 61 pgs. Bachelor's thesis, supervisor Horecký, R.

Bachelor's thesis deals with the issue of non-destructive testing, which are used for big aircraft. The work describes the different test methods, equipment for testing, use in practice.

The aim of thesis is to create educational material for the subject of Maintenance procedures 3, dealing with non-destructive testing. This material will be used for teaching aircraft maintenance technicians by the Part 66. For this purpose, are in supplement thesis developed testing to verify the knowledge acquired by students.

OBSAH BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

1. Úvod	10
2. Historie nedestruktivních zkoušek	12
2.1 Prozařovací zkoušky	12
2.2 Magnetická prášková zkouška	12
2.3 Kapilární zkouška	12
2.4 Zkouška vířivými proudy	12
2.5 Zkouška ultrazvukem	13
3. Vytvoření výukového materiálu	14
4. Rozdělení nedestruktivních zkoušek	16
4.1 Zkouška prozařováním (RT)	16
4.1.1 Princip prozařovacích metod	16
4.1.2 Druhy záření	17
4.1.3 Postup při aplikaci prozařovacích zkoušek na letadle	18
4.1.4 Vlastní provedení zkoušky	18
4.1.5 Radiografické filmy	20
4.1.6 Vybavení používané v praxi k provádění prozařovací zkoušky	22
4.2 Zkouška ultrazvukem (UT)	23
4.2.1 Princip zkoušky ultrazvukem	23
4.2.2 Druhy ultrazvukových vln	23
4.2.3 Metody ultrazvukové defektoskopie	25
4.2.4 Zařízení používané v praxi	27
4.2.4.1 Ultrazvukové sondy	27
4.2.4.1.1 Požadované vlastnosti	27
4.2.4.1.2 Materiály piezoelektrických měničů	28
4.2.4.1.3 Konstrukce sond s piezoelektrickým měničem	28
4.2.4.1.4 Kalibrace ultrazvukových sond	31

4.2.4.2 Ultrazvukové přístroje.....	31
4.2.5 Postup zkoušky.....	32
4.3 Metoda vířivých proudů (ET).....	33
4.3.1 Princip metody vířivými proudy.....	33
4.3.2 Využití metody vířivých proudů.....	34
4.3.3 Zařízení používané v praxi.....	34
4.3.3.1 Konstrukční provedení snímačů.....	34
4.3.3.2 Přístroje.....	36
4.4 Kapilární metoda (PT).....	36
4.4.1 Princip kapilárních metod.....	37
4.4.2 Použitelnost kapilárních metod.....	37
4.4.3 Základy teorie kapilárních metod.....	38
4.4.4 Rozdělení kapilárních metod.....	40
4.4.5 Rozdělení kapilárních prostředků.....	40
4.4.6 Prostředky používané v praxi.....	41
4.4.6.1 Penetranty.....	41
4.4.6.1.1 Přehled vlastností penetrantů.....	42
4.4.6.2 Vývojky.....	43
4.4.6.2.1 Přehled vlastností vývojek.....	44
4.4.6.3 Emulgátory.....	44
4.4.6.3.1 Požadavky na emulgátory.....	44
4.4.6.4 Odmašťovače a čističe.....	45
4.4.7 Pracovní postup.....	45
4.4.8 Vady zjistitelné kapilárními metodami.....	45
4.4.8.1 Vzhled indikací.....	45
4.4.8.1.1 Nepravé (falešné) indikace.....	47
4.5 Magnetická prášková metoda (MP).....	47

4.5.1 Princip zkoušky	48
4.5.2 Faktory ovlivňující rozptylový tok	48
4.5.3 Způsoby magnetizace	49
4.5.4 Odmagnetování	49
4.5.5 Zkušební postup	50
4.5.6 Prostředky používané v praxi	51
4.5.6.1 Vlastnosti magnetických prášků	52
4.5.6.2 Vlastnosti detekčních suspenzí	52
4.5.6.3 Detekční sondy	52
4.6 Vizualní zkouška (VT)	53
4.6.1 Faktory ovlivňující provedení vizualní zkoušky	53
4.6.2 Hodnocení vad	54
4.6.2.1 Možnosti hodnocení vad	54
4.6.3 Nástroje používané v praxi	54
4.6.3.1 Lupa	54
4.6.3.2 Endoskop	55
4.6.4 Požadavky na zrak. schopnosti pracovníka provádějícího vizualní zk.	56
5. Závěr	57
6. Seznam použité literatury	58
7. Přílohy	59

1. ÚVOD

V 18. a 19. století, z dnešního pohledu významní vědci objevili mnoho fyzikálních zákonů, které v současnosti využíváme při nedestruktivních zkouškách. Tito, dnes významní lidé hledali vědeckou pravdu a prověřovali její platnost. Fourier, Newton, Hughes, Faraday, Maxwell, Rayleigh, Röntgen, Curieovi, Hertz, Einstein, a vědci začátku 20. století, například Rutherford, Edison, Langmuir, Coolidge, Sperry, Fermi a fyzikové z doby ještě nedávnější nám poskytli bohaté zdroje a matematické teorie, které jsou základem nedestruktivních zkoušek. Jejich výzkum, zprávy a teorie nám rovněž přinesly moderní prostředky přenosu a komunikace. Na základě těchto poznatků pak vznikly různé typy sond, pomocí nichž můžeme sledovat vlastnosti materiálů, geometrii a změny, zařízení pro zobrazování a rozbor údajů z nedestruktivních zkoušek.

Výzkumná činnost v jiných oborech nám v nedávné době přinesla například tranzistory, integrované obvody, počítače. Byly vytvořeny matematické metody zpracování velkého množství dat. Rozvoj statistických metod umožnil detekci významných trendů, anomálií a vzájemných vztahů mezi různými databázemi, které jsou doplňovány novými daty a poznatky v daném oboru. Pokrok v oblasti komunikačních systémů nám umožňuje detekci, přenos a analýzu obrazů zkoušených objektů a měřených vlastností, zjištěných nedestruktivním zkoušením. K tomuto se využívá družic, televize, rádia, kabelů, optických vláken, laseru, včetně bezdrátového přenosu podpořených velkým množstvím počítačových programů. Nové systémy pracující s počítačovou grafikou založenou na bitovém zobrazování, s podporou videozobrazování, transformaci obrazu do nového souřadného systému včetně použití barev a jiných forem k zvýraznění obrazu, které podtrhují obsah informace. Přímé srovnání obrazů vytvořených zcela odlišnými médii používanými pro nedestruktivní zkoušení, umožňuje zlepšení rozborů a dosažení dokonalejších vzájemných vztahů mezi různými zkušebními metodami.

V současné době takřka neexistuje literatura v českém jazyce, vhodná pro výuku nedestruktivních zkoušek. Pro výuku předmětu Postupy údržby 3 vznikla tato bakalářská práce. Její obsahem bude studijní materiál, který poskytne studentům ucelený náhled do problematiky nedestruktivního zkoušení.

Cílem mé bakalářské práce je vytvořit materiál pro potřeby modulu M7, který by byl vhodný pro výuku a přiblížení poznatků o jednotlivých metodách nedestruktivních zkoušek.

2. HISTORIE NEDESTRUKTIVNÍCH ZKOUŠEK

2.1 Prozařovací zkoušky

Roku 1885 objevil W. C. Röntgen záření, jež nazval paprsky X. Poté, roku 1898 uveřejnil zákonitosti svého objevu. Historicky prvním piktogramem se stává Röntgenův snímek hlavně brokovnice. Tento piktogram se stal prvním snímkem dnešní moderní defektoskopie prozařováním.

V roce 1913 sestrojil W. C. Coolidge vysokovakuovanou rentgenku.

Přibližně od roku 1915 se začala pozvolna zavádět průmyslová rentgenografie.

2.2 Magnetická prášková zkouška

Tuto metodu se pokusil navrhnout S. M. Saxby v roce 1868 pro testování hlavní děl a pušek. Společnost, která tyto zbraně vyráběla, však neměla o zkoušky zájem. Z tohoto důvodu byl vývoj zmrazen až do roku 1912, kdy s myšlenkou magnetické práškové zkoušky přišel americký fyzik C. W. Burrows.

Skutečné průmyslové využití zavedli V. de Forest a F. Doane roku 1929.

2.3 Kapilární zkouška

Petrolejová zkouška, jak byla tahle zkouška označována v počátcích se začala používat v druhé polovině 19. století. Používala se tehdy převážně pro zjišťování trhlin v železničních kolejnicích.

Kapilární zkouška zaznamenala velké využití v leteckém průmyslu těsně před a během 2. Světové války.

2.4 Zkouška vířivými proudy

Princip objevil během první poloviny 19. století Dominique Arago, následně jej vysvětlil Leon Foucault. Metoda vířivých proudů má rovněž počátky v objevu

elektromagnetické indukce M. Faradayem v roce 1931. V 50. letech 20. století byly položeny vědecké základy elektromagnetických zkušebních metod.

2.5 Zkouška ultrazvukem

V roce 1880 objevili a popsali bratři Curieovi piezoelektrický jev (pojednává o vzniku volného náboje na povrchu některých krystalů při jejich mechanické deformaci). O rok později Lippmann objevil nepřímý piezoelektrický jev (ten hovoří o tom, že krystal deformuje přivedení elektrického náboje na jeho povrch). Tyto objevy byly stavebním kamenem při konstrukci přístrojů, které vytvářejí a registrují vysoké ultrazvukové frekvence.

Dalším významným letopočtem v oblasti výzkumu ultrazvuku byl rok 1929. V tomto roce přinesl výzkum ruského vědce Sokolova průchodovou metodu a v roce 1934 metodu impulsní odrazovou. Sokolov je proto považován za zakladatele ultrazvukové defektoskopie.

Průmyslové zkoušení ultrazvukem začalo současně a však na sobě nezávisle v USA, Velké Británii a Německu. V těchto zemích každý s pánů F. Firestone, D. O. Sproule a A. Trost vymyslel vlastní ultrazvukový defektoskop.

3. VYTVOŘENÍ VÝUKOVÉHO MATERIÁLU

V úvodu Bakalářské práce byl definován cíl, který vychází z aktuální potřeby výuky nedestruktivních zkoušek v rámci předmětu Postupy údržby 3. Nedestruktivní zkoušky jsou totiž obsaženy v osnovách teoretických znalostí techniků údržby letadel z modulu M7. Nařizuje to předpis Part 66.

Vznikla tedy potřeba výukového materiálu. Ten by měl popisovat jednotlivé nedestruktivní metody, jejich principy, apod.

Dále by měl tento studijní materiál studentům 3. ročníků přiblížit využití nedestruktivních zkoušek v praxi.

Za tímto účelem byla tvorba výukového materiálu rozdělena na tři části:

- 1) část výkladová – popis metod, principy a praktické využití
- 2) část výuková – prezentace v power pointu
- 3) část kontrolní – zpětná vazba na výuku nedestruktivních zkoušek

Výukový materiál vytvořený dle zadání Bakalářské práce pak obsahuje nedestruktivní zkoušky, které jsou uvedeny na následujících stranách. Budou zde probrány tyto zkoušky:

- prozařovací zkoušky
- zkoušky ultrazvukem
- metoda vířivých proudů
- kapilární metody
- magnetická prášková metoda
- vizuální zkoušky



zkouška prozařováním
rentgenovými paprsky



zkouška vířivými
proudy



zkouška prozařováním
paprsky gamma



zkouška magnetickou
penetrací



zkouška ultrazvukem



kapilární zkouška

Obr. 1 Symboly značení jednotlivých metod

4. ROZDĚLENÍ NEDESTRUKTIVNÍCH ZKOUŠEK

Nedestruktivními zkouškami označujeme takové metody, které používáme pro zkoušení určitého produktu, materiálu nebo systému, aniž by se narušila jeho budoucí použitelnost nebo ovlivnila schopnost plnit vyžadovanou funkci.

Zkušební nedestruktivní metody jsou aplikovány s cílem zjištění necelistvosti materiálu. Při zkouškách bývá využívána určitá forma energie pro stanovení materiálových vlastností nebo pro indikování přítomnosti vnitřních vad.

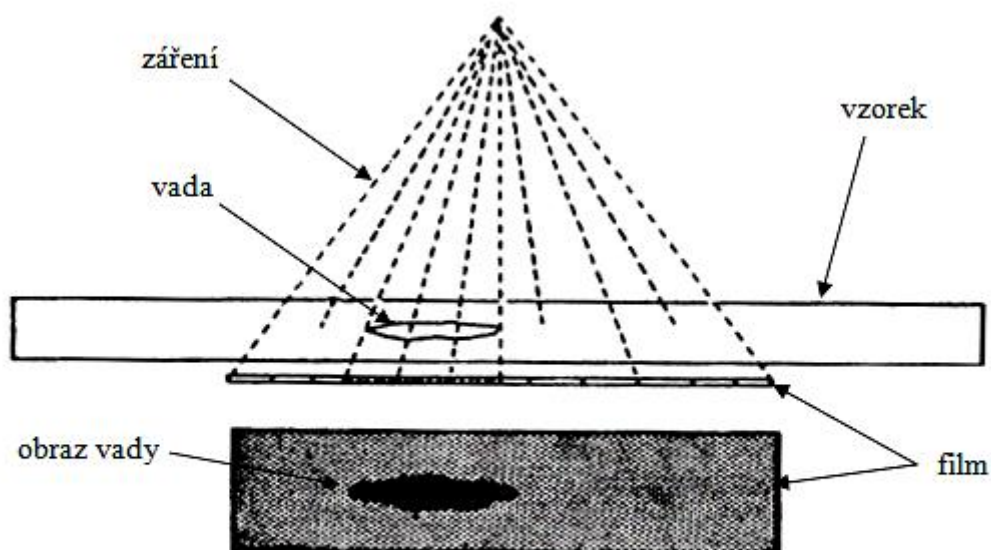
4.1 Zkouška prozařováním (RT)

Zkoušky pomocí prozařování umožňují získat trvalý obraz vnitřních vad. Vzhledem ke své průkaznosti a možnosti trvalého záznamu je jednou z nejdůležitějších metod při kontrole zařízení v leteckém průmyslu.

4.1.1 Princip prozařovacích metod

Při průchodu materiálem dochází k zeslabování procházejícího ionizujícího záření. Toto zeslabení závisí mimo jiné na tloušťce materiálu. Pokud je v materiálu defekt s vhodnou orientací vůči směru záření, je záření v tomto místě méně zeslabeno či naopak zesíleno. Změna intenzity záření v tomto případě závisí na materiálu, který se nachází v místě vady.

Za testovaným předmětem se vytváří neviditelný reliéf neviditelného záření. Ten je zapotřebí přenést na viditelný obraz vhodným detektorem. V případě klasické (filmové) prozařovací zkoušky RT se jedná o radiografický film.



Obr. 2 Princip prozařování

4.1.2 Druhy záření

Záření se dá obecně definovat jako šíření energie prostorem. Pokud se tato energie šíří prostřednictvím vlnění, jde o elektromagnetické vlnění (rentgenové záření a gama záření)

- a) Jako **rentgenové záření** neboli záření X je nazýváno krátkovlnné fotonové záření, vznikající v elektronovém obalu atomu. Jde především o záření, které vzniká zpomalováním nabitých částic ve hmotě.
- b) Pojmem **záření gama** bývá označováno krátkovlnné fotonové záření, vznikající většinou při přechodu atomového jádra z vyššího energetického stavu do nižšího.

Elektromagnetické záření má tyto vlastnosti:

- šíří se přímočaře, rychlostí světla
- způsobuje zčernání fotografické emulze
- nedá se vychýlit magnetickým polem.

4.1.3 Postup při aplikaci prozařovacích zkoušek na letadle

Před započítím zkoušky se musí označit identifikačními číslicemi všechna místa, která budou kontrolována. Význam těchto čísel spočívá v označení jednotlivých snímků.

Nastavení napětí a proudu zářiče. Velikost obou nastavovaných veličin se odvíjí od použitého typu zářiče, u proudu pak ještě závisí na době prozařování.

Druh použitého filmu se odvíjí od toho, jaký materiál je prozařován. Problematika filmů je popsána níže. Každý druh filmu má doporučenou velikost, na kterou musí být oříznut, aby vyhovoval aplikaci.

4.1.4 Vlastní provedení zkoušky

- Zvolíme si vybavení a materiál, který je potřebný pro provedení zkoušky.
- Umístíme zářič paprsků, film, identifikační čísla, které zároveň určují pořadí ozařování. Na obrázku 3 je vyobrazeno umístění filmů na zkoušeném předmětu. Umístění zdroje záření – rentgenky znázorňuje obrázek 4.
- Provedeme samotné ozáření.
- Pokud z prvního provedeného ozáření není vnitřní struktura dobře viditelná, provedeme úpravu polohy zářiče a filmu.
- Ze snímku zjistíme, zda se ve zkoušené oblasti nachází nějaká vada, která by vyžadovala naši pozornost.



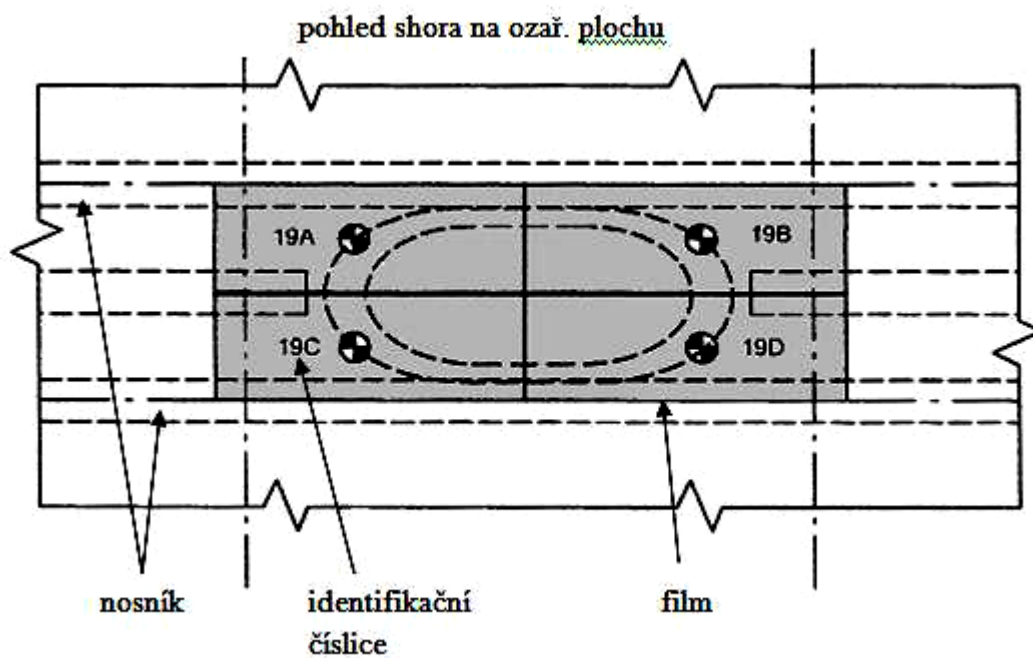
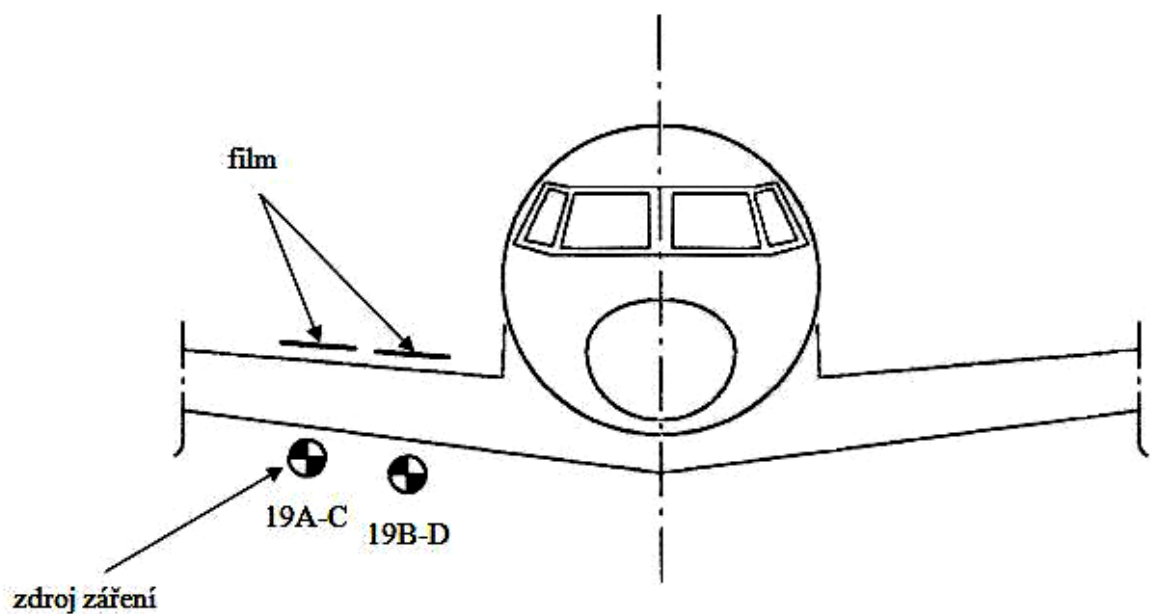
Obr. 3 Rozmístění filmů



Obr. 4 Umístění rentgenky při zkoušce

Varování: pokud je použito k této nedestruktivní zkoušce rentgenového záření, vzniká riziko ozáření pro personál, který by se nacházel v okolí zkoušené oblasti. Proto

musejí být všichni pracovníci upozorněni na prováděnou zkoušku a musí být dodržena bezpečnostní opatření.



Obr. 5 Radiografická zkouška křídla letadla

EXPOSURE FOR: (exposure numbers)	kV	mAmin	SFD (mm)	FILM CLASS	FILM QUANTITY	FILM SIZE (recommended) (mm)
19A	140	10	1500	2 & 3	2	180 x 430
19B	140	10	1500	2 & 3	2	180 x 430
19C	140	10	1500	2 & 3	2	180 x 430
19D	140	10	1500	2 & 3	2	180 x 430

SFD – vzdálenost mezi zdrojem záření a filmem

Tab. 1 Vyplněný formulář zkoušky

4.1.5 Radiografické filmy

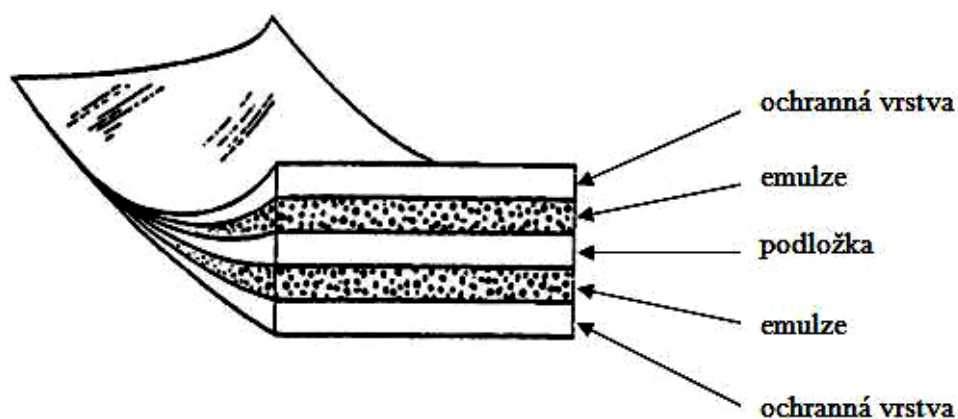
Detekce rentgenového a gama záření je umožněno vzájemným působením fotonů s detekční látkou.

Filmy, které se využívají v průmyslové radiografii jsou složeny ze tří vrstev:

- nosná podložka (tloušťka cca 0,1 mm),
- oboustranná emulzní vrstva (tloušťka cca 0,01 mm),
- oboustranná ochranná vrstva (tloušťka cca 0,001 mm).

Jako podložky se používá průsvitná polyetylenová fólie. Na ni je nanесena vrstva emulze, která se skládá ze želatiny a zrn bromidu stříbrného (AgBr). Jelikož je želatina měkká a tudíž náchylná k poškození, je chráněna ochrannou vrstvou.

Znázornění vrstev radiografického filmu je vyobrazeno na obrázku 6.



Obr. 6 Složení radiografického filmu

Vlastnosti:	Označení filmu:
Nejvyšší kontrast Extrémně jemná zrna Velmi nízká rychlost	AGFA D2, DUPONT NDT 35, 45, KODAK R, a podobné
Velmi vysoký kontrast Velmi jemná zrna Pomalá rychlost	AGFA D4, DUPONT NDT 55, KODAK T, MX a podobné
Vysoký kontrast Jemná zrna Střední rychlost	AGFA D7, DUPONT NDT 75, KODAK AA, AX, a podobné

Tab. 2 Přehled radiografických filmů a jejich vlastností

Rychlost filmu označuje množství záření, které je zapotřebí k dosažení úplného zčernání filmu (zčernání =1).

Velikost zrn ovlivňuje citlivost filmu. Hrubozrnné filmy mají největší citlivost, zatímco nejmenší citlivost mají jemnozrnné filmy.

4.1.6 Vybavení používané v praxi k provádění prozařovací zkoušky

Baltograph XMD 160 (obr. 7)

Výrobce tohoto zařízení je Belgická společnost Belteau NDT sa.

Tato mobilní jednotka je navržena s důrazem na vnější rozměry. Velikost umožňuje nejen se pohodlně dostat dveřmi do hangáru, ale hlavně dobrou mobilitu při provádění zkoušek.

Zdroj spolu s řídící jednotkou je umístěn ve vozíku. Ten je pomocí 25m dlouhého prodlužovacího kabelu spojen s rentgenkou. Rentgenka může být umístěna na univerzální trojnožce, která je vyobrazena na obr. 7.



Obr. 7 Mobilní sestava Baltograph XMD 160

4.2 Zkouška ultrazvukem (UT)

Pro účely nedestruktivního zkoušení má zkouška ultrazvukem velký význam. Tato metoda má totiž největší dosah ze všech nedestruktivních zkoušek. Používá se k odhalování vnitřních defektů u rozměrných součástí, výkovků, odlitků, apod., u kterých se nedá s ohledem na rozměry využít zkoušky prozařováním rentgenovými či gama paprsky.

4.2.1 Princip zkoušky ultrazvukem

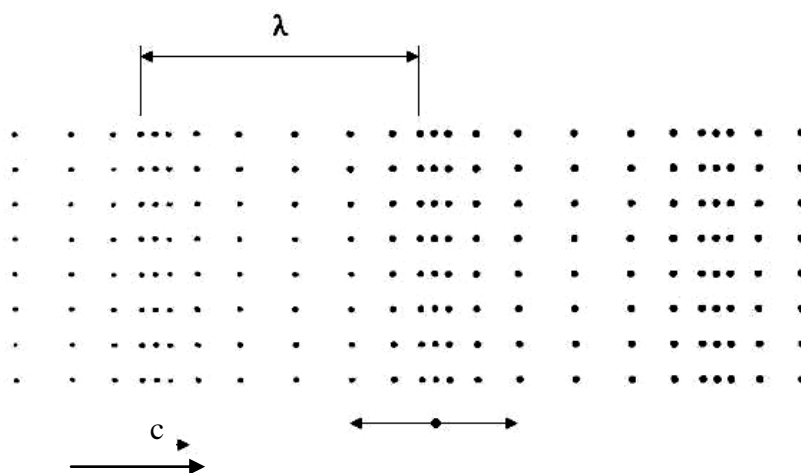
Ultrazvuk jsou zvukové vlny o frekvenci, které jsou nad prahem slyšitelnosti. Ultrazvukové vlnění se dá popsat jako kmitavé vlnění části prostředí okolo jejich rovnovážných poloh. Z toho vyplývá, že se šíří prostředím, jež je alespoň částečně elastické.

Princip zkoušky ultrazvukem je založen na tom, že pevné materiály jsou dobrými vodiči zvukových vln. Ultrazvukové vlny vyslané do materiálu se odráží od každého rozhraní, a tedy i od vnitřních vad. Ultrazvuk se šíří v pevných kovových i nekovových materiálech. Čím vyšší frekvenci má, tím menší vady je možno detekovat. Pro zkoušení se průmyslové nedestruktivní zkoušení se využívá rozsah frekvence od 0,5 MHz do 25 MHz.

4.2.2 Druhy ultrazvukových vln

a) Podélné (longitudinální) vlnění

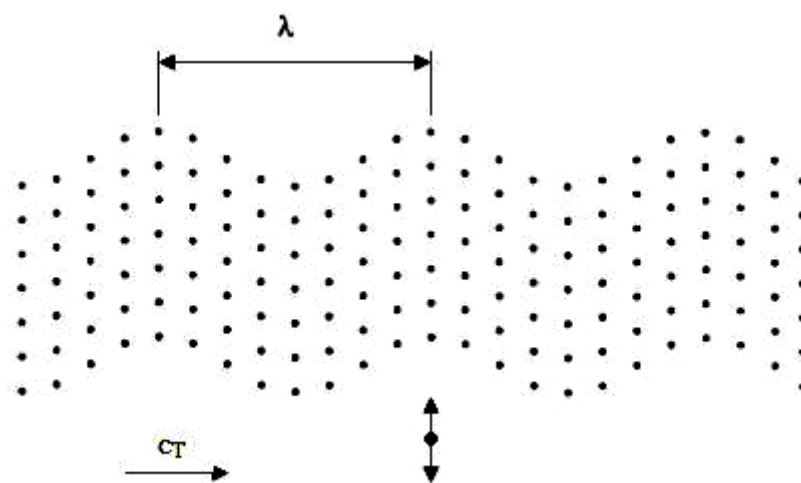
Částice prostředí, kterým vlny prostupují, mohou kmitat více způsoby. Na obrázku 8 je zobrazen případ, kdy částice kmitají ve směru šíření vlny. Tomuto druhu vlnění říkáme podélné. V prostředí, kde se podélné vlny šíří vznikají **tahové** a **tlakové** síly, protože částice se navzájem oddalují a opětovně přibližují. Podélné vlnění se může šířit v dostatečně pružném tuhém, kapalném i plynném prostředí. Rychlost šíření podélné vlny označujeme c_L .



Obr. 8 Podélné vlnění

b) Příčné (transverzální) vlnění

U podélného vlnění částice kmitají kolmo na směr postupu vlny (obr. 9), přičemž v rovině kmitání zachovávají stále stejný směr. Příčná vlna se může šířit jen takovým prostředím, které je schopné přenášet **smykové síly**, proto se nešíří v kapalinách ani plynech, ale jen v tuhých látkách. Rychlost příčné vlny označujeme c_T . Pro daný materiál je rychlost šíření příčné vlny vždy menší než šíření vlny podélné.

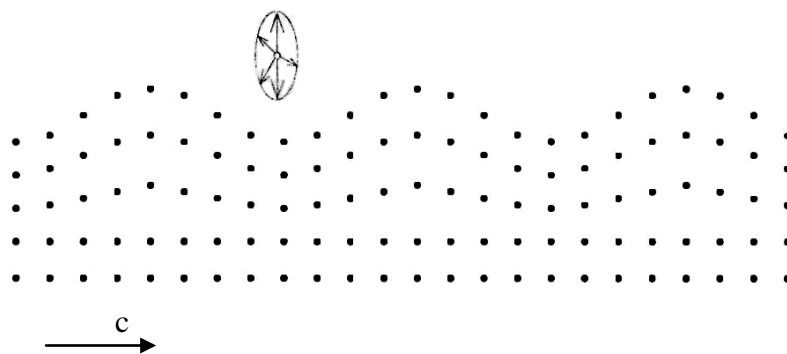


Obr. 9 Příčné vlnění

c) Povrchové (Rayleighovo) vlnění

Na povrchu a těsně pod ním se může šířit povrchové vlnění, při kterém částice kmitají v rovině kolmo na směr šíření vlny, ale v kolmé rovině zachovávají stále stejný směr kmitání. Z toho vyplývá, že v rovině kolmé na směr šíření vlny částice opisují elipsu (obr. 10).

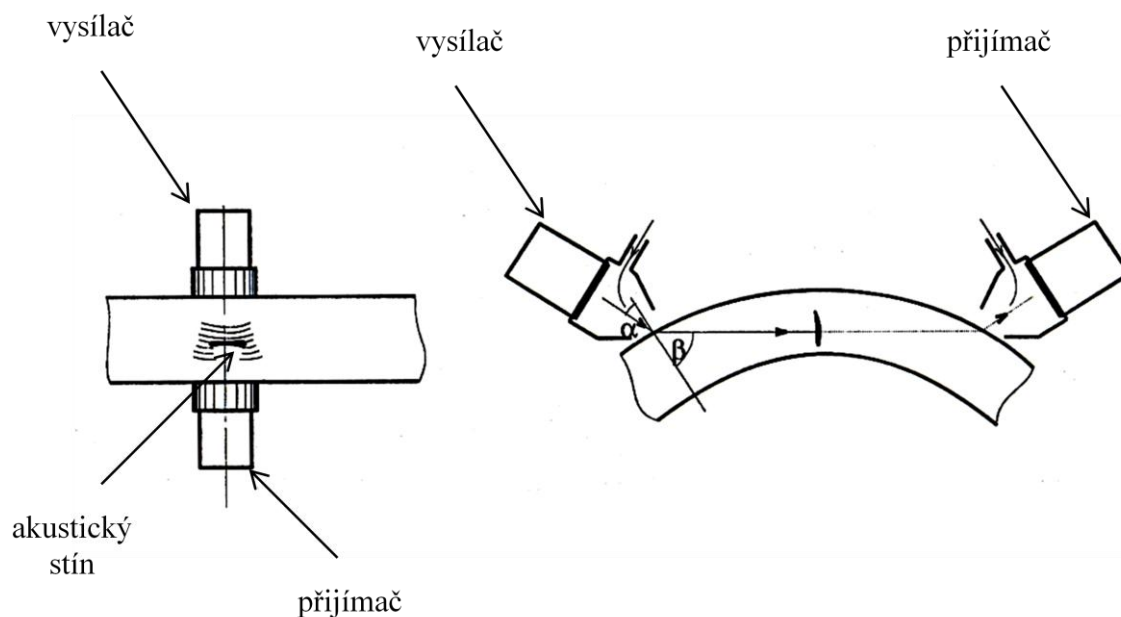
Amplituda povrchové vlny s hloubkou velmi rychle klesá. Rychlost šíření povrchové vlny se označuje c_R a její hodnota je 0,8 až 0,9 krát menší než rychlost příčné vlny.



Obr. 10 Povrchové vlnění

4.2.3 Metody ultrazvukové defektoskopie

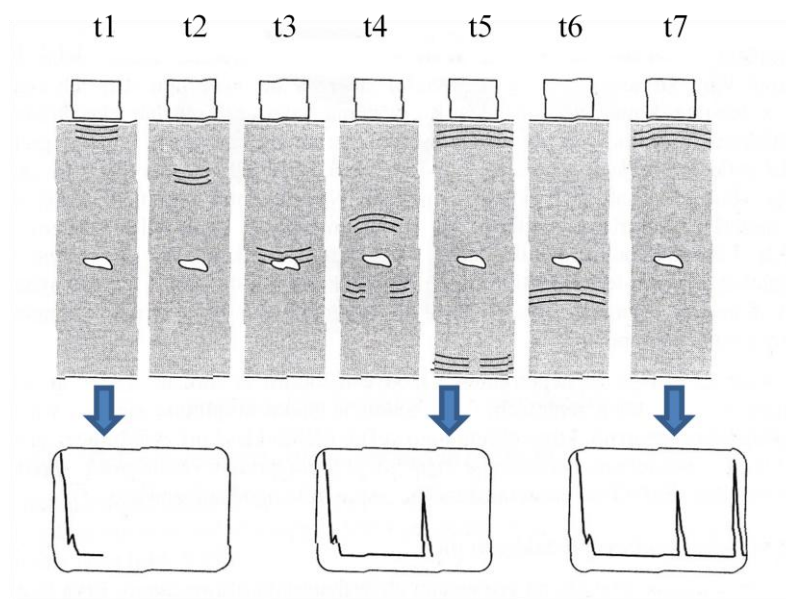
Existují dva způsoby jak zjišťovat chyby materiálu pomocí ultrazvuku. První způsob je založen na zeslabení ultrazvuku při průchodu materiálovou vadou. Je to tzv. průchodová metoda. Vyžaduje dvě sondy umístěné proti sobě tak, že jedna jen vysílá a druhá pouze přijímá ultrazvukové vlny, které prošly materiálem (obr. 11). Použití průchodové metody je omezeno pouze na součástky s vhodnými protilehlými povrchy. Další nevýhodou je skutečnost, že pokud se vada nachází daleko od přijímací sondy a její průřez je menší než průřez ultrazvukového svazku, potom následkem ohybu vlnění vzniká v určité vzdálenosti za vadou akustický stín přijímací sonda zaznamenává signál stejný jako v místě bez materiálové vady.



Obr. 11 Průchodová ultrazvuková metoda

Výhoda průchodové metody spočívá v tom, že ultrazvuk prochází v porovnání s odrazovou metodou, která bude následně popsána, pouze poloviční dráhou a je tedy méně zeslabován. Proto je průchodová metoda používána při kontrolách těžko prozvučitelných materiálů jako například guma.

Odrazová metoda je založena snímání odražených ultrazvukových vln od vady materiálu. Znázornění postupu vlny materiálem je na obrázku 12. Na provedení zkoušky postačí pouze jeden přístupný povrch. Poloha vady se určuje z doby od vyslání vlny po přijetí odražené vlny. Podle amplitudy odražené vlny je možno určit velikost vady. Nevýhodou této metody je, že ultrazvuk překonává dvojnásobnou dráhu, jako je vzdálenost k vadě. Další nevýhodou je existence tzv. mrtvého pásma omezujícího detekci vad při zkoušeném povrchu. Proto se odrazová metoda na rozdíl od průchodové nehodí na zkoušení tenkých plechů.



Obr. 12 Prostup ultrazvukové vlny materiálem

4.2.4 Zařízení používaná v praxi

4.2.4.1 Ultrazvukové sondy

4.2.4.1.1 Požadované vlastnosti sond

Součástí každého ultrazvukového defektoskopického zařízení je prvek, kterým se vysílá vlnění do materiálu, a přijímají zprávy o výskytu vnitřních vad. Tyto prvky se nazývají ultrazvukové sondy. Pro většinu aplikací ultrazvuku při defektoskopii považujeme za důležité dvě vlastnosti sond.

V první řadě musí sonda generovat impulzy velké amplitudy, aby bylo možné prozvučovat materiál i o větších šířkách a to při dobrém poměru signálu k šumu. Tato vzdálenost je obzvláště důležitá u materiálů s velkým útlumem jako například austenitická ocel, litina, plasty a kompozitní materiály.

Druhou důležitou vlastností ultrazvukových sond je, aby sonda vysílala co nejkratší impulzy. Krátké vysílané impulzy zaručují dobrou hloubkovou rozlišovací schopnost. Díky krátkým vysílaným impulsům je možné navzájem rozlišit i vady ležící blízko sebe.

Sonda musí být dostatečně mechanicky odolná a její konstrukce musí být navržena tak, aby nevznikly parazitní odrazy uvnitř sondy.

Podle způsobu generování ultrazvuku je možné sondy rozdělit na:

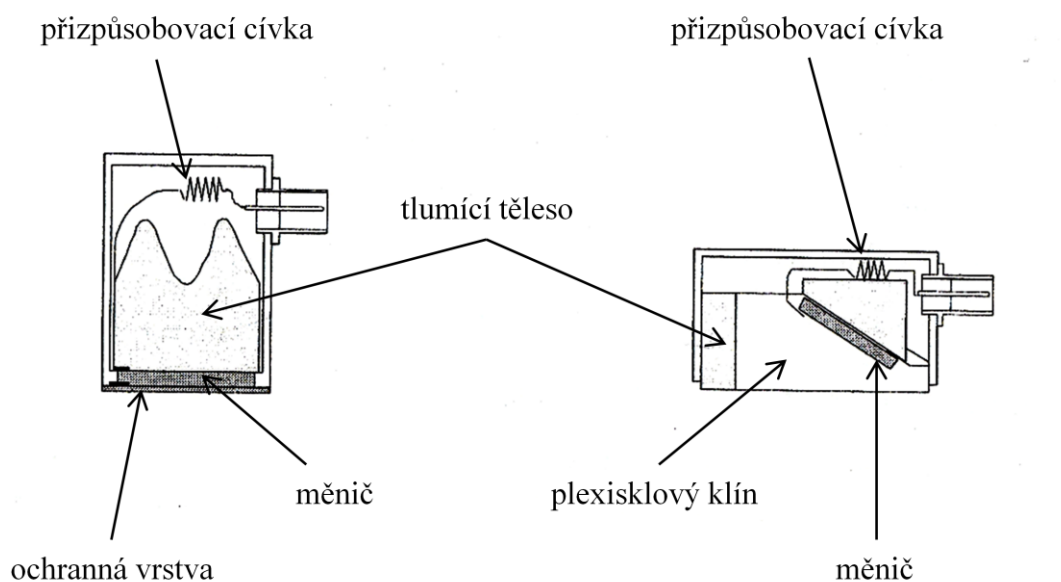
- sondy, jejichž základem je piezoelektrický měnič,
- sondy s magnetoscilačním měničem,
- sondy s elektrodynamickým měničem.

4.2.4.1.2 Materiály piezoelektrických měničů

Nejčastěji se používají sondy s piezoelektrickým měničem. Je to destička z piezoelektrického materiálu, která na elektrický impulz reaguje hloubkovým kmitem, čímž generuje podélnou vlnu. Materiálem, ze kterého je měnič vyroben bývá nejčastěji piezokeramika.

4.2.4.1.3 Konstrukce sond s piezoelektrickým měničem

Sondy se vyrábějí ve dvojím provedení – **čelní** a **úhlové**. Jejich konstrukce je znázorněna na obrázku 13.



Obr. 13 Konstrukce čelní sondy (vlevo) a úhlové sondy (vpravo)

Čelní sonda obsahuje měnič chráněný před mechanickým poškozením tvrdou otěru vzdornou ochrannou vrstvou, tlumicí tělísko a přizpůsobovací cívku, která má za úkol impedanční přizpůsobení sondy ke vstupním obvodům ultrazvukového přístroje. Sonda bývá jako celek uzavřena v kovovém pouzdře s konektorem, přičemž na kovové pouzdro sondy bývá vyvedený jeden z elektrických kontaktů měniče. Tloušťka ochranné vrstvy nemůže být libovolná. Aby nedošlo ke zkreslení a především prodloužení impulzu při jeho průchodu ochrannou vrstvou, volí se šířka jako čtvrtina vlnové délky ($\lambda/4$). Tlumicí tělísko je z materiálu s vysokým útlumem a vlnovým odporem přizpůsobeným vlnovému odporu měniče. Jeho úloha je tlumit měnič, aby byly dosaženy krátké impulzy. S nárůstem tlumení však klesá amplituda vysílaných kmitů a tedy i citlivost sondy. Proto se vyrábějí sondy s různým stupněm tlumení a citlivostí. Širokopásmové sondy jsou velmi tlumené a mají dobrou hloubkovou rozlišovací schopnost. Úzkopásmové sondy jsou méně tlumené, mají lepší citlivost, ale horší rozlišovací schopnost.

Čelní sondy jsou vhodné ke zkoušení takových částí, kde je přístupný a dostatečně rovný povrch pro přiložení sondy. Čelními sondami se nedají hledat trhliny orientované kolmo na zkoušený povrch. Tyto sondy také nejsou vhodné pro zkoušení svarů. Zkoušky svarů se provádějí úhlovými sondami.

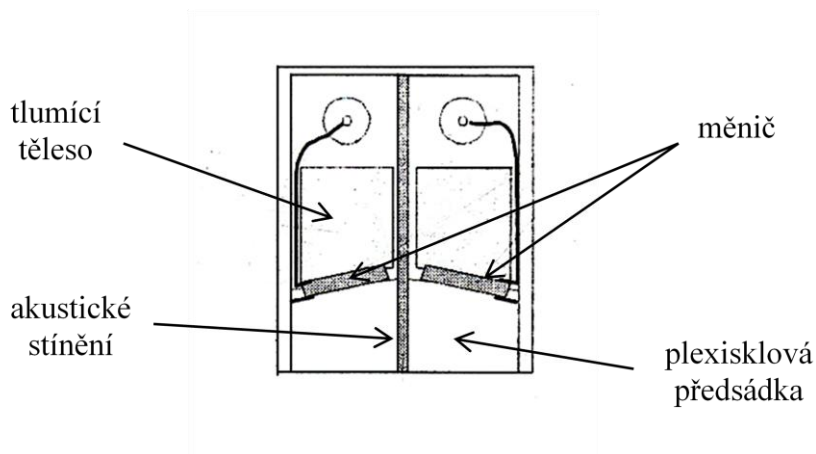
Úhlové sondy obsahují plexisklový klín, takže jeho dosedací plocha tvoří se zkušebním povrchem akustické rozhraní. Na tomto rozhraní nastává lom. U běžných úhlových sond dopadá podélná vlna z měniče na toto rozhraní pod úhlem větším než kritickým, takže v materiálu je proto přítomna pouze příčná vlna. Úhlové sondy pro příčné vlny se proto vyrábějí až do úhlu lomu 35° pro ocel, nejčastěji však s úhlem 45° , 60° a 70° .

Úhlová sonda nemá ochrannou vrstvu, protože měnič je oddělený od zkoušeného povrchu plexisklovým klínem. Tento klín je však nejméně odolnou částí celé sondy. Po několika hodinách zkoušení se klín opotřebovává, čím se mění jeho geometrie a samozřejmě úhel výstupu ultrazvukového svazku. Často se stává, že u sondy je změna úhlu i stranová, to se projeví na nepřesné lokalizaci vady. Proto je nutné u úhlových sond během zkoušky několikrát kontrolovat úhel a bod výstupu ultrazvukového svazku.

Úhlové sondy se někdy přizpůsobují zakřivení zkoušeného povrchu zabroušením dotykové plochy plexisklového klínu. Tohoto se využívá například při zkoušení svarů potrubí malého průměru.

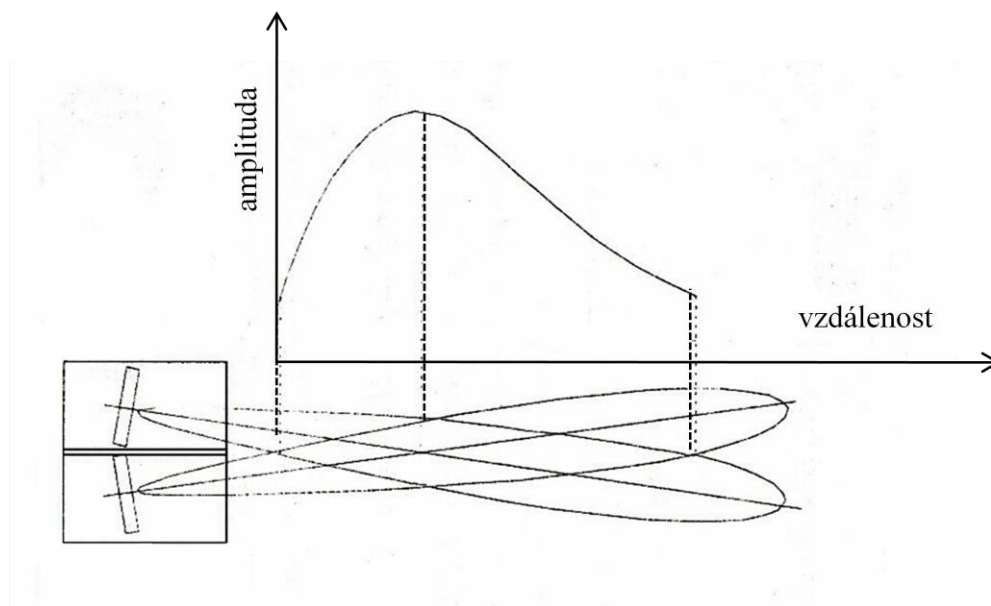
Oba typy sond, čelní i úhlové můžou být v provedení jako jednoměníčové anebo dvojité.

U dvojitých sond je jeden měnič určený výhradně na vysílání a druhý pouze na přijímání informací o vnitřní struktuře materiálu. Oba jsou umístěny v jednom tělese, jsou však akusticky odděleny přepážkou, tzv. akustickým stíněním. (obr. 14).



Obr. 14 Konstrukce dvojité čelní sondy

Dvojité čelní sondy se používají na měření hrubých materiálů a na detekci chyb ležících blízko pod zkoušeným povrchem. Jejich citlivost se však mění s hloubkou, což je dáno natočením měničů sondy k sobě. Využitelný hloubkový rozsah dvojitých sond je určen oblastí překrytí vyzařovacích diagramů měničů (obr. 15).



Obr. 15 Vysílání dvojité sondy

4.2.4.1.4 Kalibrace ultrazvukové sondy

Kalibrace, která se provádí před vlastní zkouškou materiálu, pomocí měrek, které mají umělé vnitřní defekty. Kalibrací je dosaženo konfigurace systému, která je vyžadována pro aplikaci prováděné zkoušky.

4.2.4.2 Ultrazvukové přístroje

Všechny přístroje určené pro detekci vad ultrazvukem, tzv. univerzální ultrazvukové defektoskopy jsou schopny využívat průchodové i odrazové metody.

V dnešní době se téměř výhradně vyrábějí a používají digitální ultrazvukové přístroje.



Sitiescan D-10



Dryscan 410D

Obr. 16 Ultrazvukové přístroje

4.2.5 Postup zkoušky

- příprava zkoušeného povrchu – odstranění nečistot, nátěru
- nanesení vazebního media na zkoušený povrch
- zapnutí přístroje
- nastavení výstupních hodnot – frekvence ultrazvuku
- kalibrace
- vlastní zkoušky
- pomocí výpočetní techniky vystavení protokolu měření

Obrázky 17 a 18 zachycují průběh zkoušky.



Obr. 17 Průběh ultrazvukové zkoušky



Obr. 18 Pracovník, provádějící ultrazvukovou zkoušku

4.3. Metoda vířivých proudů (ET)

Roku 1831 Michael Faraday zjistil, že při změnách magnetického pole dochází ve vodiči, který se nachází v tomto poli, k indukci elektrického napětí.

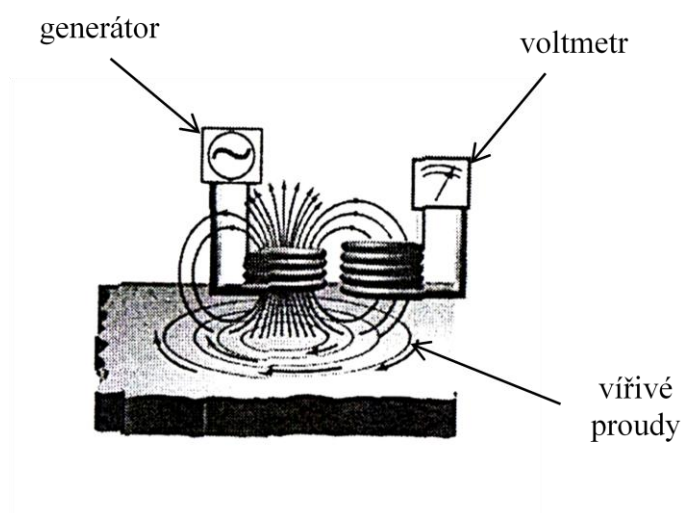
Elektrické napětí se však nemusí indukovat pouze ve vodiči. Může se indukovat v jakémkoli elektricky vodivém prostředí, které se nachází v měnícím se magnetickém poli.

4.3.1 Princip metody vířivými proudy

Metoda vířivých proudů používaná při nedestruktivní kontrole materiálu je založena na tom, že se zkoušený objekt vystaví působení střídavého magnetického pole, vytvořené budicí cívkou, která je napájena střídavým proudem. Zkoušený předmět má určitou elektrickou vodivost, magnetickou permeabilitu a dané rozměry.

Ve zkoušeném objektu se indukují vířivé proudy, které svým magnetickým účinkem působí zpětně na budící magnetické pole. Tato dvě magnetická pole - primární od budicí cívky a reakční od vířivých proudů - se skládají ve výsledné pole, které závisí na elektrické vodivosti a magnetické permeabilitě zkoušeného objektu. V měřicím vinutí snímače se tedy indukuje napětí ovlivněné magnetickými a elektrickými parametry kontrolovaného předmětu. Princip metody vířivých proudů je zobrazen na obrázku 19.

Indukované napětí dále závisí na tvaru objektu a frekvenci budicího proudu, kdy s rostoucí frekvencí se zvyšuje velikost vířivých proudů.



Obr. 19 Princip metody vířivých proudů

Princip nedestruktivní kontroly pomocí vířivých proudů spočívá v tom, že strukturní stav materiálu změni uvedené magnetické a elektrické parametry, nebo přítomnost vady přeruší část drah vířivých proudů, takže jejich zpětný účinek na budící pole se změni.

4.3.2 Využití metody vířivých proudů

Zkouška vířivými proudy se uplatňuje pro tyto aplikace:

- detekce materiálových vad např. trhlin, povrchových prasklin, poruch svárů apod.
- měření tloušťky stěn
- kontrola povrchových vrstev kovů
- měření tloušťky laků
- kontrola struktury kovů při tepelném zatížení
- kontrola mechanického napětí

Výhody metody vířivých proudů:

- relativně levná kontrola vůči některým jiným metodám (např. prozařovací metoda)
- před zkouškou vířivými proudy není zapotřebí zkoušený povrch upravovat
- jako jedna z mála nedestruktivních zkoušek umožňuje zkoušení za vysokých teplot

Nevýhody metody vířivých proudů:

- neumožňuje detekci vad, které se nacházejí hluboko pod povrchem

4.3.3 Zařízení používaná v praxi

4.3.3.1 Konstrukční provedení snímačů





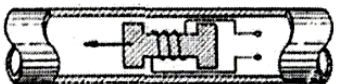
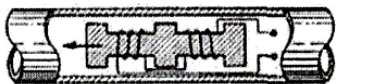


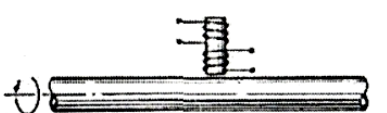
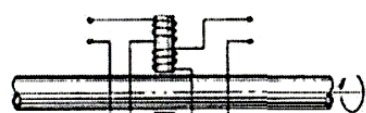
Snímací cívky vzhledem ke kontrolovanému objektu mají nejčastěji následující uspořádání:

- průchozí
- příložné

Konstrukční provedení snímačů se od sebe liší podle požadavků kontrolovaného objektu. Kontrolovaným objektem je určen geometrický tvar snímače a počet a elektrické zapojení cívek. Na obrázku 20 je základní přehled uspořádání snímacích jednotek. Podle počtu cívek můžeme snímače rozdělit na absolutní a diferenciální.

- a) **Absolutní** snímače mají pouze jedno vinutí, z něhož se získává požadovaná kontrolní informace. Při tom se může jednat o jednu cívku, která plní funkci napájecí i měřicí cívky. Informace o defektech pak nese změna impedance této cívky. Citlivost snímače s absolutním zapojením je však malá.
- b) **Diferenciální** zapojení má vždy dvě cívky, z nichž je získávána požadovaná kontrolní informace. Při tom nemusí vždy mít budící a měřicí obvody samostatné cívky.

Dalším typem používaných snímačů jsou příložné snímače. Jejich konstrukční uspořádání je přizpůsobeno účelu použití

		ABSOLUTNÍ	DIFERENCIÁLNÍ
PRŮCHOZÍ SNÍMAČ	1 VINUTÍ		
	2 VINUTÍ		
VNITŘNÍ SNÍMAČ			
PŘÍLOŽNÝ SNÍMAČ	1 VINUTÍ		
	2 VINUTÍ		

Obr. 20 Základní uspořádání snímačů

4.3.3.2 Přístroje



Obr. 21 Přenosný digitální přístroj ELOTEST M3



Obr. 22 Přenosný analogový přístroj POROTEST

4.4 Kapilární metoda (PT)

Kapilární metoda je jednou z nejstarších defektoskopických metod. Moderní kapilární metody využívají kapilárních (vzlínavostních) vlastností některých kapalin. Tyto kapaliny je možno souhrnně označit jako penetranty. Kapilární zkouškou je možno detekovat povrchové necelistvosti materiálu, jako jsou například trhliny či pórovitost zkoušeného materiálu. Zjišťování vnitřních vad, které nejsou přímo propojeny s testovaným povrchem, není kapilárními metodami možné.

Hlavní přednost kapilárních metod spočívá v jejich jednoduchosti, co se týče principu i vlastní aplikace. Za další výhodu lze považovat velkou univerzálnost zkoušky. Ta umožňuje zkoušení rozměrných, tvarově složitých předmětů. Ani chemické složení při téhle zkoušce nehraje roli, tak jako u ostatních jiných nedestruktivních metod. V neposlední řadě patří k přednostem kapilárních metod i ekonomie zkoušení, neboť zkoušky jsou provozně i investičně relativně levné, přiměřeně rychlé a při hodnocení výsledků zkoušky s sebou přinášejí minimum problémů.

4.4.1 Princip kapilárních metod

Kapilární metody jsou založeny na využití charakteristických jevů, označovaných jako kapilární jevy nebo kapilární vlastnosti kapalin.

Vlastní princip kapilárních metod spočívá ve využití vzlínavosti a smáčivosti vhodných kapalin (penetrantů). Přičemž se využívá jejich barevnosti a fluorescence. Těmito kapalinami se pokrývá zkoušený povrch tak, aby penetranty mohly vnikat do necelistvostí vycházejících na testovaný povrch materiálu. Poté je nutno vyčkat do doby, než penetranty dobře vniknou do všech vad. Po uplynutí penetračního času se odstraní přebytek penetrantu z povrchu. Následně se na zkoušený povrch aplikuje tzv. vývojka. Vývojka působí jako absorbent (dá se přirovnat k pijáku), nasává penetrant, který vnikl do necelistvostí v materiálu, na který byl nanesen. Vývojka zároveň vytváří kontrastní pozadí. Při následném vyhodnocování zkoušky jsou hodnoceny dvojrozměrné indikace zjištěných vad. Indikace se hodnotí na základě vizuálního vjemu barevného nebo jasového kontrastu.

Detekční schopnost kapilární metody začíná při šířce vady v jednotkách tisícín milimetrů. Detekční schopnost se odvíjí od drsnosti povrchu, druhu přítomných vad, použité citlivosti zkušebního procesu, apod.

4.4.2 Použitelnost kapilárních metod

Kapilárními metodami lze detekovat pouze vady, které vyúsťují na povrch zkoušené součásti. Musí tedy být zaručeno, že penetrant bude moci do necelistvostí vniknout. Pomocí kapilární metody nelze detekovat vnitřní vady v materiálu. Proto tato metoda patří mezi povrchové nedestruktivní zkoušky.

Kapilárními metodami lze zkoušet:

- kovové materiály (austenitické oceli, barevné kovy, lehké kovy a jejich slitiny, aj.)
- feromagnetické materiály, avšak u těchto je výhodnější použít magnetickou práškovou metodu
- nekovové materiály jako např. plastické hmoty, glazovaná keramika, sklo, aj.

Kapilární metodou nelze zkoušet materiály pórovité a materiály, které by byly narušeny kapilárními prostředky (např. některé plasty).

Kapilární metody se nejlépe osvědčují u plošných vad typu trhlin, studených spojů, apod. a to i velmi jemných. U mělkých a prostorových vad (bublin), které se na povrchu široce rozevírají, je výsledek většinou neuspokojivý, neboť nelze zabránit vymytí penetrantu z vady při odstraňování jeho přebytku z povrchu testované součásti.

4.4.3 Základy teorie kapilárních metod

Za souhrnným názvem kapilární vlastnosti kapalin jsou skryty tyto fyzikální jevy:

- povrchové napětí
- krajový úhel
- kapilární elevace
- kapilární tlak
- viskozita

a) Povrchové napětí

Na molekulu uvnitř kapaliny působí přitažlivé vazební síly všech ostatních molekul. Tyto síly jsou ve všech směrech stejné. Takže součet všech vnitřních sil v molekule je roven nule. Toto však neplatí pro molekuly ležící na povrchu kapaliny. U povrchových molekul nejsou kompenzovány síly ze strany rozhraní kapaliny a vzduchu. Absence kompenzace má za následek, že povrchové molekuly jsou vtahovány dovnitř do kapaliny. Kapalina se tedy snaží zaujímat takový tvar, aby plocha jejího povrchu byla co nejmenší. Odpovídá tomu kulový tvar povrchu.

Síly, které brání zvětšování povrchu se nazývají povrchové napětí. Je definováno jako síla působící kolmo k jednotce délky v povrchu kapaliny. Velikost povrchového napětí je stejná ve všech směrech a místech povrchu.

b) Krajový úhel

Při pohledu na místo styku kapaliny se stěnou nádoby je patrné, že u různých kapalin je odlišně velké zdvižení nebo snížení okraje. Na okraji se stýkají tři prostředí, a to kapalina, plyn (nejčastěji vzduch) a stěna pevného tělesa. Úhel, který svírá povrch kapaliny se stěnou pevného tělesa (nádoby) se nazývá **krajový úhel** (někdy je nazýván také jako kontaktní úhel) (obr. 23). Jeho velikost závisí na rozdílu povrchového napětí stěny pevného tělesa vzhledem ke vzduchu a vzhledem ke kapalině. Tomuto rozdílu se říká adhezní konstanta.

Je-li adhezní konstanta kladná, je krajový úhel ostrý a kapalina stěny tělesa (nádoby) smáčí – okraj kapaliny se u stěny zvedá.

Je-li adhezní konstanta záporná, je krajový úhel tupý a kapalina stěnu tělesa (nádoby) nesmáčí – okraj kapaliny se u stěny snižuje)

Podle tohoto hlediska rozdělujeme kapaliny na smáčivé a nesmáčivé.

Smáčivostí rozumíme schopnost kapaliny vytvářet stálý povrch na rozhraní s pevným tělesem v okamžik, kdy začíná přebytečná kapalina stékat.

Na smáčivost má vliv i drsnost povrchu. Čím je povrch drsnější, tím je smáčivost vyšší.

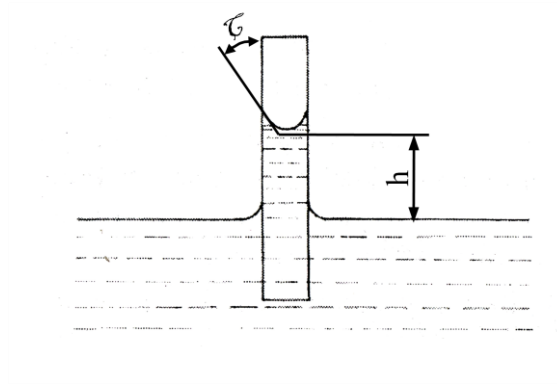
Stěny trhlín mají většinou vyšší drsnost povrchu než okolní materiál, proto u nich lze pozorovat lepší smáčivost.

c) Kapilární elevace a kapilární tlak

Vlivem soudržných sil vzrůstá tlak v kapalině směrem od povrchu dovnitř kapaliny. Tento vzrůst tlaku se nazývá tlakem kohezním. V tenké trubici (kapiláře) ponořené kolmo do smáčivé kapaliny, nastává působením přilnavých (adhezních) sil vzestup molekul kapaliny vzhůru po stěnách trubice. Vlivem povrchového napětí je kapalina v trubici vytahována až do určité výše, kde vytváří zakřivený, konkávní povrch, neboť proti povrchovým silám tu působí gravitační síla sloupečku vyzvednuté kapaliny (obr. 23).

Tento jev se nazývá **kapilární elevace**.

Z hlediska principu kapilárních metod je elevace velmi důležitým jevem, protože hledané vady materiálu se chovají jako kapiláry.



Obr. 23 *Krajový úhel kapaliny*

d) Viskozita

Na použitelnost penetračních prostředků má podstatný vliv viskozita.

Viskozita má podstatný vliv na rychlost vnikání penetrantu do nečelistvostí. Také samozřejmě ovlivňuje následnou rychlost výstupu penetrantu na povrch.

Penetrant s příliš vysokou viskozitou vniká do vad pomalu. Penetrant s velmi nízkou viskozitou naopak vytváří na zkoušeném povrchu jen slabou vrstvu.

Viskozita je závislá také na vnějších podmínkách kapaliny. Při zvýšení teploty o 1 °C viskozita kapaliny klesá zhruba o 2%.

petrolej	$1,9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
nesmytelné penetranty	$6 \text{ až } 12 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
smytelné penetranty	$12 \text{ až } 14 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
emulgátory	$7 \cdot 10^{-5} \text{ až } 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

Tab. 3 *Hodnota viskozity jednotlivých látek*

Pro praktickou aplikaci kapilárních metod je nutnou podmínkou použití vhodných, kapilárně aktivních penetrantů. Ty musejí dobře pronikat do vad a po odstranění jejich přebytků ze zkoušeného povrchu snadno vzlínají na opět na tento povrch. Takovéto kapaliny (penetranty) musí mít proto vyšší povrchové napětí, malý krajový úhel a nízkou viskozitu. Tyto veličiny však musejí být ve vzájemném souladu.

Pro názornost je možno ukázat kombinaci povrchového napětí, krajového úhlu a viskozity na vodě. Voda se vyznačuje vysokým povrchovým napětím a nízkou viskozitou, což je pro dobrý penetrant důležité. Ovšem voda má při kontaktu s většinou pevných látek příliš velký krajový úhel. Z tohoto důvodu není voda vhodná pro použití jako penetrant.

4.4.4 Rozdělení kapilárních metod

Kapilární metody se rozdělují z hlediska druhu vytvořené indikace a způsobu jejího hodnocení na:

- a) **metoda barevné indikace** – přítomnost necelistvostí se projeví vznikem kontrastní barevné indikace. Vady jsou většinou indikovány červenou barvou na bílém podkladě. Takovéto indikace se hodnotí v denním nebo umělém bílém světle.
- b) **metoda fluorescenční** – přítomnost vad se projeví vznikem indikace, která v ultrafialovém záření (tzv. černém světle) světélkuje, většinou žlutozeleně.
- c) **metoda dvouúčelová** – přítomnost necelistvostí se projeví buď barvou, nebo fluorescenční indikací. Způsob indikace záleží na tom, jaký je zvolen druh osvětlení, jestli bílé či ultrafialové světlo.

4.4.5 Rozdělení kapilárních prostředků

Názvem kapilární prostředky jsou označovány činidla, která jsou potřebná pro zkoušení kapilárními metodami. Rozdělují se na:

- 1. penetranty (detekční kapaliny)
- 2. vývojky
- 3. čističe (odmašťovače a rozpouštědla)
- 4. emulgátory

Všechny tyto prostředky dohromady tvoří set, který má být vždy od jednoho výrobce.

4.4.6 Prostředky používané v praxi



Ob. 25 Kapilární prostředky

4.4.6.1 Penetranty

Jako penetraty nazýváme kapaliny, které se nanáší na povrch zkoušeného materiálu. Jsou to kapaliny, které vnikají do povrchových necelistvostí. V defektech penetrant setrvává v dostatečném množství i po odstranění jeho přebytku ze zkoušeného povrchu. Následným vzlínáním z necelistvostí v materiálu tyto vady zviditelňuje.

Penetranty se skládají ze směsí kapalných ropných produktů a organických rozpouštědel. Tato směs bývá obarvena na intenzivní červenou barvu, nebo je v ní rozpuštěn luminofor.

Penetranty se rozdělují podle několika kritérií:

Rozdělení podle způsobu vizuální indikace, kterou vytváří:

- a) **penetranty barevné** – zaručují výrazný kontrast v kombinaci s bílou vývojkou
- b) **penetranty fluorescenční** – světélkují při ozáření ultrafialovým světlem a vytvářejí světelný kontrast s pozadím vady
- c) **penetranty dvouúčelové** – obsahují luminofor, který je zároveň barvivem. Takovýto penetrant může být použit buď jako barevný nebo jako fluorescenční.

Podle možnosti odstranění penetrantu vodou, rozlišujeme penetranty na:

- a) **penetranty smytelné** – obsahují emulgátor, který umožňuje přebytek penetrantu ze zkoušeného povrchu odstranit vodou
- b) **penetranty nesmytelné** – tento typ penetrantu se vodou odstraňuje nedokonale. Pouhé opláchnutí vodou k odstranění detekční kapaliny nestačí.

Další rozdělení penetrantů vychází rovněž ze smytelnosti detekční kapaliny a podle toho, zda penetrant obsahuje či neobsahuje emulgátor. Podle tohoto kritéria se penetranty rozdělují na:

- a) **penetranty emulgační** – emulgátor je v penetrantu obsažen a spolu s ním je vnášen i do necelistvostí ve zkoušeném materiálu
- b) **penetranty postemulgační** (následně emulgované) – emulgátor se nanáší na přebytek penetrantu, který zůstává na zkoušeném povrchu. Emulgátor se na přebytek penetrantu nanáší až po uplynutí penetračního času. Takže do vady v materiálu proniká pouze penetrant, který není emulgátorem ovlivněn.

4.4.6.1.1 Přehled vlastností penetrantů

Na detekční kapaliny je kladena celá řada nároků, k nimž je nutno přihlížet při volbě vhodného penetrantu pro daný účel. Mezi nároky kladené na penetrant patří:

- a) **penetrační schopnost** – vlastnost detekční kapaliny rychle proniknout do povrchových necelistvostí a udržet se v nich i po dobu trvání dalších pracovních operací. Penetrační schopnost je závislá na celé řadě dalších činitelů, především však závisí na:
 - nosném médiu
 - viskozitě penetrantu
 - krajovém úhlu (smáčivosti)
- b) **těkavost** – má být co nejmenší. příliš těkavé penetranty mohou v necelistvostech zasychat a při hromadném zkoušení v nádržích zhoršují pracovní prostředí a zvyšují nebezpečí požáru.
- c) **bod vzplanutí** – teplota, při níž hořlavé výpary daného penetrantu vytvoří za standardních podmínek výbušnou směs pokud je přítomen plamen. Požadavek je, aby penetranty měly bod vzplanutí vyšší než 50 °C.
- d) **chemická netečnost** – penetranty musí být chemicky netečné a nekorozivní ke zkoušenému materiálu, ale také k nádobám, ve kterých jsou přechovávány. Většina běžných penetrantů tento požadavek splňuje. Pouze emulgační penetranty s vyšším obsahem emulgátorů mohou vykazovat alkalickou reakci. Takovéto prostředky musí být z hliníkových a hořčíkových materiálů pečlivě odstraněny, aby nezpůsobovaly korozi.

Při zkoušení austenitických, niklových a titanových materiálů je nutno používat penetranty s minimálním obsahem halogenidů (Cl, Br, J, F) a síry. Tyto látky totiž mohou způsobovat korozní praskání, nebo bodovou korozi.

Upozornění: Zvýšenou pozornost chemické netečnosti penetranů je zapotřebí věnovat při zkoušení plastů, které mohou být poškozeny nosným médiem penetrantů.

- e) **rozpouštěcí schopnost nosného média** – nosné kapaliny penetrantů musí být dobrými rozpouštědly barviva nebo luminoforu, které musí udržet v roztoku jak za normální teploty, tak při teplotách nad a pod rozsahem použitelnosti. Koncentrací barviva nebo luminoforu je totiž přímo ovlivněna sytost indikace vad.
- f) **toxická a zápach** – penetranty musí být nejedovaté a pokud možno téměř bez zápachu. Z toho plyne, pokud jsou používány předepsaným způsobem, nemůže dojít k poškození lidského organismu.

4.4.6.2 Vývojky

Kapilární vývojka je činidlo, které se po odstranění přebytku penetrantu nanáší na zkoušený povrch předmětu. Vývojka napomáhá vztlínání penetrantu z necelistvosti a společně s ním vytváří kapilární indikaci.

Základem všech druhů kapilárních vývojek je práškovitá složka bílé barvy, jemného zrnění, která nesmí být hygroskopická (nesmí rychle pojímat vodu ze svého okolí). Nejčastěji se používají tyto látky: oxid zinečnatý (ZnO), oxid hořečnatý (MgO), uhličitán vápenatý (CaCO_3), aj.

Druhou složkou vývojky je nosné prostředí. Tím může být vzduch, voda, aceton, líh, benzín, aj.

Hlavním úkolem vývojky je vytvořit a zvýraznit indikaci necelistvosti tak, aby byla dobře viditelná. Vývojka funguje do určité míry jako savý papír. Jednotlivé částice vývojky vytvářejí kapilární systém, který napomáhá vztlínání penetrantu z necelistvosti na povrchu.

Dalším úkolem vývojky, hlavně u barevné metody, je maskování ostatního povrchu necelistvosti, většinou bílým zbarvením. Tím vývojka zvyšuje kontrast indikace necelistvosti. U fluorescenčních postupů se maskování povrchu nevyžaduje.

Kapilární vývojky rozdělujeme podle druhu nosného prostředí na tři základní druhy:

- a) **suché vývojky** – nosným prostředím je buď vzduch, nebo vhodný hnací plyn. Vývojky se na zkoušený povrch naprašují.
- b) **mokrý vývojky těkavé** – práškovitá složka vývojky je rozptýlena v těkavém rozpouštědle, např. v acetonu. Vývojky se na zkoušený povrch nanášejí stříkacími pistolemi, spreji, rozprašovači, apod.
- c) **mokrý vývojky vodné** – práškovitá složka vývojky je rozmíchána ve vodě, která obsahuje ještě smáčedlo, popř. retardační přísady. Vývojky se většinou předehtávají až na 65 °C. Nanášejí se ponořením zkoušeného předmětu do vývojkové lázně. V tomto případě odpadá sušení povrchu po opláchnutí vodou při odstraňování přebytku detekční kapaliny.

4.4.6.2.1 Přehled vlastností vývojek

Má-li vývojka kteréhokoliv typu spolehlivě pracovat v co nejširším rozsahu, musí mít určité vlastnosti. Požadované vlastnosti jsou následující:

- výborná absorpční schopnost, která napomáhá vzlínání dostatečného množství penetrantu z necelistvostí
- jemná zrnitost, aby indikace vad byly ostře ohraničené a výrazné
- musí co nejvíce maskovat barvu pozadí, tj. barvu povrchu zkoušeného materiálu
- musí se snadno nanášet a vytvářet jemný povlak
- musí se snadno smáčet detekční kapalinou
- při fluorescenčním postupu nesmí mít vývojka vlastní fluorescenci, ani nesmí ultrafialové záření pohlcovat
- musí být snadno odstranitelná z povrchu součásti
- nesmí poškozovat zkoušený materiál ani jeho povrch
- nesmí škodit lidskému organizmu.

4.4.6.3 Emulgátory

Emulgátory jsou povrchově účinné látky, usnadňující rozptýlení pevných nebo kapalných látek v kapalině (obvykle ve vodě), v níž se obvykle nerozpouštějí. Při kapilárních zkouškách emulgátory usnadňují odstranění přebytku penetrantu z povrchu zkoušeného materiálu.

U emulgátorů rozlišujeme dva základní druhy:

- a) **emulgátory lipofilní** – jsou rozpustné v tucích, nejsou rozpustné ve vodě. V přítomnosti vody však vytvářejí emulzi s detekční kapalinou. Jejich zbytky v odpadních vodách po kapilární zkoušce však nejsou biologicky odbouratelné.
- b) **emulgátory hydrofilní** – v detekční tekutině se nerozpouštějí, rozpouštějí se však ve vodě. V přítomnosti penetrantu vytvářejí s vodou emulzi. Jsou biologicky odbouratelné.

4.4.6.3.1 Požadavky na emulgátory

Požadavky, kladené na emulgátory jsou následující:

- a) musí snadno reagovat s detekční kapalinou a zkoušeným povrchem
- b) emulgace musí probíhat dostatečně pomalu, aby jí mohl pracovník ovlivnit. Avšak emulgace musí být natolik rychlá, aby nezpůsobovala velké časové ztráty.

- c) emulgátor musí být vhodný i pro použití ve velkých otevřených nádržích, proto musí mít vyšší bod vzplanutí, nízkou těkavost, nepatrný zápach a nesmí být jedovatý

4.4.6.4 Odmašťovače a čističe

Odmašťovač je činidlo odstraňující tuk nebo olej z povrchu zkoušeného předmětu před nanesením detekční kapaliny. Odmašťovače jsou buď organické, nebo neorganické. Mezi organické odmašťovače patří rozpouštědla, jako například benzín, aceton, chlorovaná rozpouštědla, aj. Mezi anorganické patří například sodný nebo draselný louh ve vhodném zředění, spavé roztoky, aj.

Čistič je kapalina sloužící k odstranění penetrantu z povrchu zkoušeného předmětu nebo k odstranění nežádoucích pozadí. Základem čističe je organické rozpouštědlo, často kombinované s emulgátorem, případně s dalšími látkami. V některých případech se používá jako čističe samotného organického rozpouštědla. Při takovém zkušebním postupu však hrozí nebezpečí vymytí penetrantu z necelistvostí.

4.4.7 Pracovní postup

- příprava povrchu
- nanesení detekční kapaliny
- vyčkání po dobu nutnou k vniknutí penetrantu do necelistvostí – penetrační doba
- odstranění přebytku detekční kapaliny
- nanesení vývojky
- vyhodnocení výsledků zkoušky

4.4.8 Vady zjistitelné kapilárními metodami

Indikace vytvořená penetrantem a vývojkou označuje místo, kde se na povrchu zkoušeného materiálu nachází necelistvost, která je s tímto povrchem spojená a vytváří prostor vhodný pro vniknutí penetrantu.

4.4.8.1 Vzhled indikací

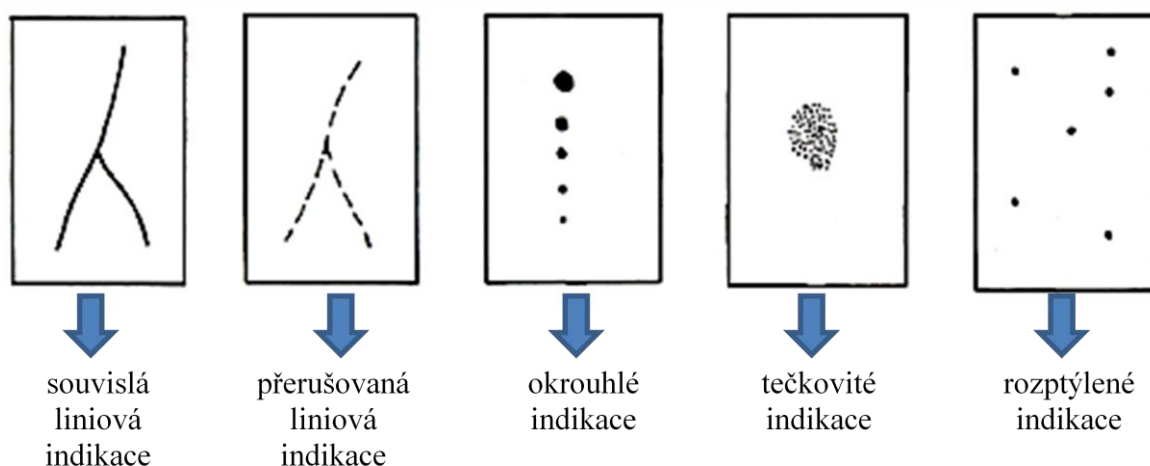
Při metodě barevné indikace se výsledky kapilární zkoušky vyhodnocují při bílém světle. Pojem bílé světlo označuje buďto denní světlo, nebo světlo žárovky či zářivky). U barevné kapilární metody je indikace vad obvykle červená na bílém pozadí. Sytost červené indikace je kromě jiných činitelů, závislá zejména na obsahu detekční kapaliny v necelistvosti, a též na koncentraci barviva v nosném médiu.

Při fluorescenční metodě se indikace vyhodnocují pod černým světlem ultrafialové lampy v zatemněném prostoru. Neporušené oblasti se jeví temně modrofialové. Zatímco indikace vad světélkují buď žlutozeleně, nebo modrozeleně. Intenzita fluorescence indikace je závislá jednak na množství detekční kapaliny vzlínající z necelistvosti, koncentraci luminoforu v nosném mediu penetrantu a také na výkonu ultrafialové lampy.

Indikace vad se dělí podle svého vzhledu na:

- a) **souvislé liniové indikace** – jsou to především trhliny, které jsou typickým představitelem těchto indikací. Průběh souvislých liniových indikací je buď téměř rovný, např. u prasklin, nebo různě zakřivený, sleduje-li necelistvost materiálových zrn. Takovéto trhliny vznikají např. tepelným namáháním. Souvislou liniovou indikací se vyznačují nespojitá místa odlitků nebo svarů.
- b) **přerušované liniové indikace** – poskytují necelistvosti, které vycházejí na povrch v celém průběhu své délky. Např. u vývalků nebo výkovků mohou být údery bucharu či tlakem válcovací stolice vrstvy materiálu částečně spojeny. V takovémto spoji vznikne přerušovaná liniová indikace.
- c) **okružová indikace** – je charakteristická pro vady vyskytující se především u odlitků. Mohou se také vyskytovat u svaru, zvláště na ukončení svarové housenky, kde se mohou vytvořit kráterovité trhliny. Obsah těchto trhlín bývá značný, a proto vytvářejí mnohdy velmi syté, rychle se rozpíjející okružové indikace.
- d) **tečkovitá indikace** – vyskytuje se často ve tvaru shluku větších či menších bodů. Tečkovitou indikací způsobuje porézni materiál.
- e) **rozptýlená (difúzní) indikace** – jsou to indikace bez ostrého ohraničení. Často se vyskytují jen jako oblasti se zvýšeným barevným nebo fluorescenčním pozadím. Je-li zkoušený povrch pečlivě zbaven přebytků detekční kapaliny, pak tento jev může svědčit o velmi jemné porózitě. V takovýchto případech je lepší vždy zkoušku opakovat a věnovat zvýšenou pozornost očištění zkoušeného povrchu, případně místo ověřit jinou defektoskopickou zkouškou.

Jednotlivé typy indikací jsou vyobrazeny na obrázku 25.



Obr. 25 Jednotlivé typy indikací

4.4.8.1.1 Nepravé (falešné) indikace

Při zkouškách kapilárními metodami může snadno dojít ke tvorbě nepravých, tzv. falešných indikací. Jsou to barevné nebo fluorescenční body, linie nebo oblasti, které nejsou způsobeny žádnou vadou. Nejčastější příčinou vzniku těchto indikací bývá nedokonalé odstranění detekční kapaliny ze zkoušeného povrchu. Příčinou ovšem může také být nedostatečná čistota pracovního místa, např. pracovní stůl je znečištěn penetrantem. Popřípadě, když pracovník, provádějící zkoušku, bude mít ruce potřísněné penetrantem, může se stát, že vzniknou falešné indikace.

Častou příčinou falešných indikací také bývají různá vlákna či jiné nečistoty, zachycující se zejména na hrubším povrchu.

Rovněž je důležité, při manipulaci se zkoušenými předměty, zamezit jejich vzájemnému kontaktu. Mohlo by se totiž přihodit, že předmět se výraznou skutečnou indikací zanechá otisk na předmětu bez vad.

4.5 Magnetická prášková metoda (MP)

Magnetická prášková metoda je také nazývána jako metoda rozptylových toků.

Magnetická prášková metoda je metoda určená pro odhalování povrchových a podpovrchových defektů typu trhlin, prasklin, pórů, vměstků, apod. Tuto metodu lze uplatnit pouze při zkoušení feromagnetických materiálů. Pro jiné než feromagnetické materiály nelze magnetickou práškovou metodu použít.

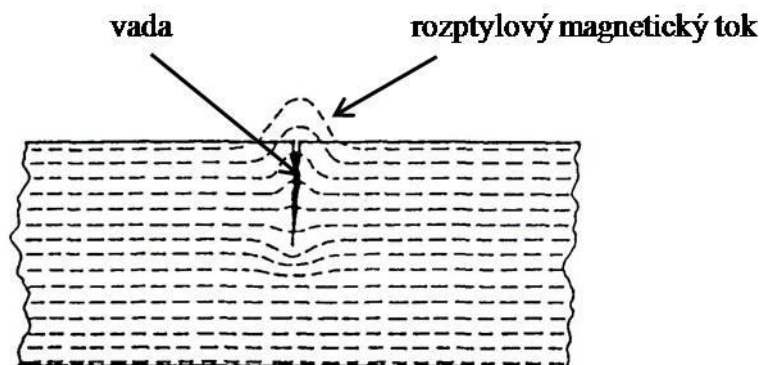
4.5.1 Princip zkoušky

Vhodným zmagnetováním feromagnetického materiálu dojde k jeho magnetickému nasycení, a tudíž materiálem prochází magnetický tok. Každá vada, která se nachází ve zkoušeném materiálu má jiné magnetické vlastnosti – má podstatně vyšší magnetický odpor než okolní materiál. Většinou jsou defekty nemagnetické (mají velký magnetický odpor), protože se může jednat např. o vzduch v trhlině, strusku, plyn v póru, apod. V místě, kde se nachází vada, dochází k deformaci magnetického pole. Jelikož celková velikost magnetického toku zůstává konstantní, dochází ke změně směru siločar. Pod nečelivostí se siločary zhušťují. Část siločar magnetického pole vystupuje v okolí vady nad povrch. V tomto místě vznikají magnetické póly. Vzniká tzv. **rozptylový magnetický tok**, který je nositelem informace o místní změně magnetických vlastností.

Na povrch zkoušeného materiálu se nanese jemný feromagnetický prášek. Magnetické pole, jež vystupuje nad zkoušený povrch, tento feromagnetický prášek přichytí v místě nečelivosti materiálu. Vada se výrazně zviditelní, neboť na místech mimo vadu se prášek nezachytí.

Prášek na povrch vytváří indikaci, zobrazující reliéf rozptylového toku způsobeného vadou. Indikace se hodnotí na základě vizuálního barevného obrazu nebo jasového kontrastu.

Detekční schopnost metody začíná při šířce vady v řádech jednotek tisícín milimetru.



Obr. 26 Vznik rozptylového toku

4.5.2 Faktory ovlivňující rozptylový tok

Faktory ovlivňující velikost rozptylového toku jsou:

- magnetické indukce
- orientace vady vůči magnetickému toku
- hloubka vady pod povrchem
- tvar vady

- a) **magnetická indukce** – roste až za maximální hodnotu permeability, kde magnetická indukce dosahuje svého maxima.
- b) **orientace vady vůči magnetickému toku** – rozptylový tok vzniká pouze tehdy, je-li směr magnetického pole přibližně kolmý na vadu. Pokud je vada rovnoběžně se směrem magnetického toku, rozptylový tok se netvoří.
- c) **hloubka vady pod povrchem** – rozptylový tok vzniká nejvýrazněji u vad souvisejících přímo s povrchem. U podpovrchových necelistvostí je slabší, a čím je defekt hlouběji pod povrchem, tím rozptylový tok více slábne, až úplně zanikne.
- d) **tvar vady** – velikost rozptylového toku závisí na poloměru délky a šířky necelistvosti. Nejvyšší hodnoty pak nabývá u dlouhé a úzké vady. Naopak nejnižší hodnoty při detekci vady přibližně kruhového tvaru.

4.5.3 Způsoby magnetizace

Pro vytvoření rozptylového pole v místě vady je zapotřebí zkoušený předmět magnetovat. Nejideálnější je, když magnetizace předmětu probíhá kolmo na směr zjišťované vady. Necelistvosti rovnoběžné se směrem magnetického pole není možno detekovat, protože nenarušují magnetické pole. Proto je zapotřebí použít více způsobů magnetování, aby bylo dosaženo co nejvhodnějšího, tj. co nejkolmějšího směru pole ke směru předpokládaných necelistvostí ve zkoušeném materiálu. Pokud není možné předvídat orientaci a lokalizaci vad, je zapotřebí použít různé směry magnetování.

Lze rozeznávat základní dva způsoby magnetizace:

- a) **pólová magnetizace** – tvoří se ve zkoušeném předmětu magnetické pole, u něhož magnetický tok prochází jak zkoušeným předmětem, tak i mimo něj. Charakteristickým znakem je vznik magnetických pólů v místech vstupu a výstupu magnetických siločar. Zkoušený předmět se po zmagnetování projevuje svým vlastním magnetickým polem.
- b) **církulární magnetizace** – magnetický tok je uzavřen ve zkoušeném předmětu. Nevznikají tedy magnetické póly, i když po zkoušení zůstane předmět zmagnetován. Navenek se vnitřní magnetické pole nijak výrazně neprojevuje.

4.5.4 Odmagnetování

Po ukončení magnetické práškové zkoušky zůstává ve zkoušeném předmětu zbytková (remanentní) indukce a to vždy tehdy, je-li použito k magnetování stejnosměrný nebo střídavý proud. I při použití střídavého proudu může zůstat zkoušený předmět částečně zmagnetovaný. Závisí to na časovém okamžiku, ve kterém bude střídavý proud vypnut.

Zbytkové zmagnetování je nežádoucí protože:

- způsobuje vzájemné přitahování magnetických předmětů
- na zbytkově zmagnetovaném předmětu se zachycují drobné mikroskopické feromagnetické nečistoty
- při elektrickém svařování zmagnetovaných dílů je elektrický oblouk vytlačován ze svařovaného místa. Dochází ke vzájemnému působení magnetického pole oblouku a pole zmagnetovaného předmětu. V důsledku tohoto nemusí být dostatečně provařen např. v kořeni svaru.
- neodstraněné zmagnetování součástí měřících zařízení může mít vliv na jejich přesnost

Odmagnetování lze provést následujícími způsoby:

- vnějším střídavým magnetickým polem s klesající amplitudou. Toto pole generuje válcová cívka napájená střídavým proudem. Poklesu magnetického pole se docílí buď snížením amplitudy proudu až k nule, nebo častěji projetím předmětu skrz cívku. Střídavé pole cívky má nastavenou potřebnou velikost.
- komutací (tj. přepínáním polarity) stejnosměrného proudu, jehož hodnota se při provádění komutace postupně snižuje na nulu
- magnetováním předmětu polem opačné polarity než bylo magnetické pole při provádění zkoušky. Tímto způsobem ovšem nelze dosáhnout úplného odmagnetování zkoušeného předmětu

4.5.5 Zkušební postup

Hlavní kroky při kontrole magnetickou práškovou metodou jsou následující:

- úprava zkoušeného povrchu
- magnetizace zkoušeného předmětu
- vyvolání indikace nanesením indikačního prostředku
- vyhodnocení indikací
- odmagnetování zkoušeného předmětu

Citlivost testovací metody je závislá na jakosti povrchu. Pro citlivou indikaci malých trhlinek musí být povrch kovově čistý, zbaven nečistot, mastnoty. Nesmí se také na zkoušeném povrchu nacházet ostré rýhy. Pokud bude zkouška aplikována na povrch jakkoliv znečištěný, nebo na povrch natřený barvou, je možno detekovat pouze hrubší necelistvosti.

Předměty, jejichž povrch je pozinkovaný, kadmiovaný, chromovaný nebo opatřen jinou vrstvou, je možno zkoušet jen tehdy, nepřesahuje-li vrstva ve zkoušeném místě 20 až 30 μm . Při větší tloušťce vrstvy klesá rozeznatelnost necelistvosti.

4.5.6 Prostředky používané v praxi



Obr. 27 Potřeby pro magnetickou práškovou metodu

Detekčním prostředkem pro magnetickou práškovou metodu je nejčastěji feromagnetický prášek. Používá se buď suchý, nebo rozptýlený ve vhodné kapalině. Magnetické prášky se dělí podle tvorby indikace a její hodnocení v bílém nebo ultrafialovém světle.

Rozdělení prášků:

- a) **barevné prášky** – jsou černé, šedé, nebo červenohnědé. Zbarvení závisí na způsobu výroby a výchozího materiálu.
- b) **fluorescenční prášky** – na povrchu feromagnetických zrn je nanesena luminiscenční barva (lumogen). Ta při ozáření ultrafialovým světlem září žlutozeleně.

Další dělení indikačních prostředků je podle nanášení magnetického prášku na kontrolovaný povrch. Dělí se na:

- suché prášky
- olejové suspenze
- vodní suspenze
- magnetické barvy
- polymerové prostředky

Při automatizované kontrole bývá rozptýlový magnetický tok indikován pomocí sond.

4.5.6.1 Vlastnosti magnetických prášků

Požaduje se od magnetického prášku, aby snadno vykreslil dobře viditelnou a ostrou indikaci necelistvosti materiálu. Magnetický prášek by se měl při správném magnetování přesně usadit v místě, kde vystupuje na povrch rozptylový magnetický tok. Neměl by ulpívat na drobných nerovnostech zkoušeného povrchu.

Pro dosažení kvalitní indikace jsou sledovány tyto vlastnosti magnetického prášku:

- magnetické vlastnosti
- optické vlastnosti
- velikost a tvar zrna prášku
- fluorescenční koeficient β magnetického prášku
- provozní trvanlivost fluorescenčního prášku

4.5.6.2 Vlastnosti detekčních suspenzí

Suspenze vzniká rozptýlením pevných částic (magnetického prášku) v kapalině. Kapalinná složka suspenze představuje dobré transportní médium pro detekční magnetický prášek po povrchu zkoušeného předmětu. Vlastnosti detekčních suspenzí jsou podmíněné vlastnostmi nosných kapalin. Jako detekční kapalina může sloužit olej, petrolej nebo voda s přísadami. Detekční suspenze bývají dvojí, a to olejové a vodní.

Olejové suspenze tvoří směs magnetického prášku, minerálního oleje a petroleje. Nepotřebují žádné další přísady, dobře přilnou i k neodmaštěnému povrchu a nezpůsobují korozi. Nevýhodou je hořlavost těchto kapalin.

Vodní suspenze mají jako hlavní kapalinnou složku vodu. Do ní jsou kromě prášku přidány smáčedla a přísady zabraňující korozi.

U suspenzí se kontroluje viskozita, povrchové napětí, hodnota pH, obsah prášku v suspenzi a fluorescence nosné kapaliny. Suspenze nesmí mít vlastní fluorescenční vlastnosti, což je při použití fluorescenčních prášků nežádoucí.

4.5.6.3 Detekční sondy

Používají se při automatizované kontrole. Aby došlo k lokalizaci vady, musí být zajištěno skenování sledovaného povrchu. Tento způsob indikace se nejčastěji využívá při zkoušení rotačně symetrických předmětů.

Nejčastěji se používají sondy:

- feromagnetická sonda
- vzduchová cívka
- Hallova sonda

4.6 Vizualní zkouška (VT)

Vizualní zkouška je jednou z nejjednodušších a nejrozšířenějších nedestruktivních metod zkoušení materiálu. Touto metodou se hodnotí povrch součásti pouhým okem nebo pomocí různých přístrojů a zařízení. Vizualní zkouška se využívá při klasické nedestruktivní kontrole, kdy jsou vyhledávány nečistoty jako např. trhliny, povrchové póry.

Vizualní zkoušku lze rozdělit podle jejího provádění na přímou a nepřímou.

Přímá vizualní zkouška je definována jako zkouška, při které není přerušena optická dráha mezi okem pozorovatele a kontrolovanou plochou. Zkouška se provádí bez pomůcek nebo za pomoci pomůcek jako je např. zrcadlo, lupa, endoskop či přístroj s optickými vlákny.

Obvykle se touto metodou zkoušení provádí **místní kontrola**, tj. zkoumání detailů. Pro provádění místní vizualní zkoušky je nutný dostatečný přístup ke kontrolovanému povrchu. Osoba provádějící zkoušku by se na zkoušený povrch měla dívat ze vzdálenosti menší než 600 mm a pod úhlem větším než 30°. Kontrolované plochy musí být dostatečně osvětleny. Minimální hodnota osvětlení při vizualní zkoušce je 500 luxů. Pokud intenzita osvětlení nedosahuje této hodnoty, je nutné použít umělé osvětlení. V tomto případě je nutno dbát na správné umístění světelného zdroje.

Přímá vizualní kontrola se může také provádět jako **všeobecná (celková) kontrola**. Při této metodě je pozorovatel vzdálen od kontrolovaného objektu více než 600 mm. Intenzita osvětlení musí dosahovat hodnoty minimálně 160 luxů.

Nepřímá vizualní kontrola se využívá v případech, pokud není možno provést přímou kontrolu, např. kvůli nepřístupnosti (např. při kontrole lopatek proudového motoru) nebo z bezpečnostních důvodů.

Nepřímá vizualní kontrola je definována jako kontrola, při které je optická dráha mezi okem pozorovatele a kontrolovanou plochou přerušena. Při této kontrole se používají pomůcky, jako jsou videoskopy, přístroje s optickými vlákny, apod. Použití těchto přístrojů vyžaduje užívání fotografie, filmové techniky, robotů, aj.

4.6.1 Faktory ovlivňující provedení vizualní zkoušky

- **geometrické rozměry** – skutečné rozměry a podmínky kontrolovaného předmětu mají vliv na provedení zkoušky.
- **čistota povrchu** – základním požadavkem při vizualní kontrole je čistota kontrolovaného povrchu. Musí být odstraněny všechny nečistoty, protože by mohly zakrýt případné povrchové vady.
- **barva světla** – barva světla může zvýšit kontrast. Naopak tlumené světlo světelného zdroje může snížit vnímání barev.

- **provedení povrchu** – je důležitá pro množství a kvalitu odraženého světla do očí pracovníka provádějícího kontrolu. Příliš hladký povrch může nepříjemně oslňovat, proti tomu příliš drsný povrch může vyžadovat speciální osvětlení.
- **únava pracovníka**

4.6.2 Hodnocení vad

Hodnocení necelistvostí při vizuální zkoušce je subjektivní a tudíž vyžaduje zkušenosti, dobré zrakové schopnosti pracovníka a dobré osvětlení. Pouze tak lze dosáhnout srovnatelných a objektivních výsledků kontroly.

Při vizuální kontrole se většinou hodnocení vad provádí:

- **prohlídkou a porovnáním** podle viditelných znaků vad, například porovnáním detekované vady s reprezentativní vadou, nebo podle katalogu vad, srovnávacích etalonů vad, apod.
- **prohlídkou a měřením parametrů vad** podle stanovených pravidel

4.6.2.1 Možnosti hodnocení vad

- a) **Posouzení vad podle znaků** – vada se posuzuje podle svých charakteristických vlastností. Např. podle tvaru necelistvosti lze určit, že se jedná o trhlinu.
- b) **Porovnání nálezu s obrazovým vzorem** – detekovaná vada se porovnává se srovnávacími etalony vad povrchu, katalogy vad, apod.
- c) **Hodnocení měřením (kontrola rozměrů)** – výsledkem tohoto hodnocení může být buď přesná číselná hodnota kontrolovaného rozměru, nebo porovnání skutečného rozměru s horním a dolním mezním rozměrem (určení zda je kontrolovaný rozměr v toleranci).

4.6.3 Nástroje používané v praxi

4.6.3.1 Lupa

Lupa (obr. 28) se využívá pro přímou vizuální kontrolu. Za pomoci lupy je možno přesnější detekce necelistvostí. Parametry lup pro potřeby vizuální zkoušky, dle ISO 3058:1998, jsou uvedeny v tabulce 4.

Lineární zvětšení	Průměr čočky (mm)	Pracovní vzdálenost (mm)
2×	125	140
4×	65	62
8×	18	31
10×	14	25
15×	10	13

Tab. 4 Lupy pro vizuální zkoušku



Obr. 28 Lupa pro vizuální zkoušku

4.6.3.2 Endoskop

Endoskop je přístroj pro nepřímou vizuální kontrolu. Díky endoskopu lze kontrolovat obtížně přístupná místa. Lze jimi kontrolovat stav a opotřebení jednotlivých součástí, výskyt koroze, posuzovat kvalitu svarů. K endoskopu je možno připojit fotoaparát, kameru, monitor či záznamové zařízení.

Endoskopy se dělí podle konstrukce na:

- **pevné – boroskopy** – obraz je přenášen optickou soustavou. Používá se v případech, kdy ke kontrolovanému prostoru je přímý přístup např. při kontrole vnitřních stěny rovných trubek. Vyznačuje se vysokou rozlišovací schopností. Vyrábějí se v různých délkách a průměrech inspekční trubice. Zorný úhel lze měnit obvykle v rozmezí 20 až 140° od osy trubice. Boroskop je vyobrazen na obrázku 29.
- **ohébné – fibroskopy** – obraz přenáší svazek optických vláken a tudíž inspekční trubice je ohébná. Fibroskopy nacházejí uplatnění při kontrolách komplikovaně přístupných prostorů. Konec fibroskopu je opatřen výměnným objektivem, který lze dálkově ovládat a natáčet jej do požadovaného směru. Fibroskop je na obrázku 30.



Obr. 29 Boroskop



Obr. 30 Fibroskop

4.6.4 Požadavky na zrakové schopnosti pracovníka provádějící vizuální zkoušku

Zrakové schopnosti každého člověka jsou individuální a jsou ovlivněny řadou subjektivních vlivů, které je nutno pravidelně sledovat a ověřovat.

Základním požadavkem, kladeným na pracovníky provádějící vizuální kontrolu, jsou dobré zrakové schopnosti. Především tedy ostrost zraku a akomodační schopnost (schopnost oka umožňující současně ostré vidění blízkých i vzdálených předmětů).

Pracovníci provádějící vizuální kontrolu proto musí prokazovat uspokojivé zrakové schopnosti, které musí mít v pravidelných lhůtách potvrzeny očním lékařem. Normy, specifikace a pravidla pro nedestruktivní zkoušení nařizují kontrolu zrakových schopností pomocí tzv. optotypů a to pro:

- vidění na blízko
- vidění na dálku
- barvocit

5. ZÁVĚR

Oblast nedestruktivního zkoušení je velice zajímavou oblastí, která se i v současné době stále vyvíjí. Je to oblast plná moderních technologií a vybavení. Oblast, která má dnes velkou perspektivu, a to nejen v leteckém průmyslu, ale i v ostatních oborech. Ovšem momentálně se tento obor zkoušení potýká s nedostatkem pracovních sil. Je to způsobeno i faktem, že člověk musí nabýt dlouholeté praxe, než je ho možno považovat za odborníka v daném oboru.

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit pro studenty 3. ročníků prezenčního bakalářského studia výukový materiál se zaměřením na problematiku nedestruktivních zkoušek letadel. Tento studijní materiál byl vytvořen pro potřeby výuky předmětu Postupy údržby 3, kde pro modul M7 nařizuje předpis Part 66 právě znalost nedestruktivních zkoušek.

Při psaní této bakalářské práce, resp. studijního textu jsem se pokusil o vytvoření uceleného přehledu základních informací o nedestruktivních zkouškách. Nepokoušel jsem se detailně popisovat všechny nedestruktivní metody zkoušení, nejruznější pracovní postupy či se zabírat detekčními přístroji. To by však nebylo ani dosti možné, protože odvětví nedestruktivního zkoušení je natolik rozsáhlá oblast, že by takovýto popis obsáhl několik tlustých knih. Důvodem vzniku tohoto materiálu je přinést studentům základní informace o jednotlivých zkouškách, pro vytvoření vlastní představy. Do jaké míry se podařilo dosáhnout vytčeného cíle a zároveň splnit cíl bakalářské práce, bude ověřeno při výuce studentů 3. ročníku v následujícím školním roce 2009/2010. Pro tento účel je v příloze bakalářské práce vypracováno několik zkušebních otázek.

6. SEZNAM POUŽITÉ LITEATURY

- [1] Aircraft servicing division: Structural Repair Manual SAAB 340, Linköping, 1985
- [2] Kopecký, B., kolektiv autorů: Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí, akademické nakladatelství CERM, s.r.o Brno, 2008
- [3] www.atg.cz
- [4] www.en.wikipedia.com
- [5] www.technotest.cz
- [6] www.tediko.cz
- [7] www.olympus-ims.com
- [8] www.tlakinfo.cz
- [9] www.mmspektrum.com

